



# Systèmes énergétiques pour les îlots urbains à Genève

*Intégration de panneaux solaires thermiques*

Projet de Master en collaboration avec les Services Industriels de Genève

**Rodrigo DE PABLO PEÑA**

Sous la direction de **Dr. F. Maréchal**

Doctorant assistant : **Nils Schöler**

Encadrant SIG : **Matthias Rüetschi**

Juillet 2014





## Remerciements

En tout premier lieu, je souhaite remercier ici François Maréchal et Nils Schüler pour avoir accepté de m'encadrer et de me guider tout au long de ce projet.

Je souhait également dire ma reconnaissance à toute l'équipe du Laboratoire Energie Environnement et Architecture (LEEA), particulièrement à Reto Camponovo, Gilles Desthieux et Peter Gallinelli qui m'ont accueilli à bras ouverts dans leur groupe. L'expérience, le professionnalisme et la disponibilité de ces personnes ont apporté, sans aucun doute, une contribution notable à ce travail.

Une grand merci aux collaborateurs du programme Eco21. En mettant leurs convictions au service d'une cause noble, ils contribuent à offrir une situation plus durable ; leur motivation est une source d'inspiration.

Et finalement, je tiens à remercier chaleureusement et tout particulièrement Matthias Rüetschi pour m'avoir donné l'occasion de réaliser ce projet dans les meilleures conditions possibles. Sa sympathie, sa vision pragmatique des choses, ses nombreux conseils et ses encouragements font que je repars aujourd'hui, avec plein de motivation pour la suite. Merci

## Résumé

*Il est d'usage, dans la plupart des situations, que chaque bâtiment possède son propre système de production d'énergie. Or, en mutualisant ces installations à l'échelle de l'îlot, l'efficacité est meilleure et par conséquent, la consommation est réduite. La Ville de Genève regorge d'îlots de formes et de tailles différentes. En suivant une certaine méthodologie et selon des critères bien définis, 156 îlots ont été sélectionnés. Leurs caractéristiques sont illustrées au travers de différentes cartes thématiques. Dans un deuxième temps, les besoins ainsi que les apports solaires ont été modélisés pour un îlot précis. Avec un réservoir de taille raisonnable, la quasi-totalité des îlots sont capables d'être autosuffisants durant la période estivale pour la production d'eau chaude sanitaire.*



## Table des matières

<b>Remerciements .....</b>	<b>iii</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>iv</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>v</b>
<b>Table des figures.....</b>	<b>vii</b>
<b>1 Introduction .....</b>	<b>8</b>
1.1 Contexte du projet .....	8
1.2 But .....	8
1.3 Justification .....	9
1.4 Déroulement du projet .....	9
<b>2 Localisation et caractérisation des îlots en Ville de Genève .....</b>	<b>10</b>
2.1 Motivation .....	10
2.2 Méthodologie.....	10
2.2.1 Remarques préliminaires.....	11
2.2.2 Systématique de recherche des îlots .....	11
2.2.3 Critères de sélection – premier essai.....	12
2.3 Critères de sélection des îlots.....	13
2.3.1 Aspect, disposition et aménagement de l’îlot.....	13
2.3.2 Epoques de construction .....	15
2.3.3 Affectation des bâtiments.....	15
2.4 Manipulations sur ArcGIS .....	15
2.4.1 Estimation des valeurs manquantes.....	15
2.5 Résultats.....	16
2.5.1 Généralités.....	16
2.5.2 Consommation annuelle d’énergie.....	17
2.5.3 Âge des chaudières.....	19
2.5.4 Répartition Mazout et Gaz.....	21
2.5.5 Emissions de CO <sub>2</sub> .....	23
2.5.6 Cadastre solaire.....	25
2.6 Commentaires .....	25
<b>3 Modélisation d’un îlot - Plainpalais .....</b>	<b>27</b>
3.1 Description de l’îlot – Paramètre pour la modélisation .....	27
3.2 Besoins pour l’eau chaude sanitaire (ECS) .....	29
3.2.1 Introduction.....	29
3.2.2 Îlot de Plainpalais .....	30
3.3 Besoins pour le chauffage .....	36
3.3.1 Signature énergétique .....	36
3.4 Températures de distribution .....	38
3.4.1 Introduction.....	38
3.4.2 Températures de distribution à Genève .....	39
3.4.3 Îlot de Plainpalais .....	40
3.5 Energie Solaire.....	41
3.5.1 Description panneau solaire .....	41
3.5.2 Données météorologiques .....	43
3.5.3 Rendement des panneaux solaires thermiques .....	43
3.5.4 Îlot de Plainpalais .....	45

<b>4</b>	<b>Effets sur les îlots.....</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>Aspects légaux.....</b>	<b>57</b>
5.1	Généralités .....	57
5.2	Servitudes.....	57
5.2.1	Servitude d’usufruit.....	57
5.2.2	Droit de superficie.....	57
5.2.3	Conduites .....	57
5.3	Locaux techniques et toitures .....	59
5.4	Panneaux solaires.....	59
<b>6</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>Bibliographie.....</b>	<b>62</b>
	Annexe 1 : Besoins typiques pour les bâtiments à Genève .....	63
	Annexe 2 : Répartition Mazout et Gaz – carte des fiabilités.....	64
	Annexe 3 : Données sur les îlots .....	65

## Table des figures

FIGURE 1: EXEMPLE DE DIGITALISATION D'UN ILOT – PLAINPALAIS (SOURCE : ARCGIS) .....	12
FIGURE 2: ÎLOT AVEC COUR INTERIEURE ENCOMBREE (SOURCE: GOOGLE MAPS) .....	13
FIGURE 3: ÎLOT A 2 FACES – QUARTIER DES GROTTES (SOURCE : GOOGLE MAPS) .....	14
FIGURE 4: ÎLOT EN "L" NON SELECTIONNE (SOURCE: GOOGLE MAPS) .....	14
FIGURE 5: ÎLOTS A FAÇADES NON CONTIGÜES - QUARTIER DES GROTTES (SOURCE : GOOGLE MAPS).....	14
FIGURE 6: REPARTITIONS DE LA CONSOMMATION.....	17
FIGURE 7: CONSOMMATION DES ILOTS SELECTIONNES.....	18
FIGURE 8: ÂGE DES CHAUDIERES .....	19
FIGURE 9: ÂGE DES CHAUDIERES .....	20
FIGURE 10: REPARTITION DES AGENTS ENERGETIQUES.....	22
FIGURE 11: EMISSIONS DE CO <sub>2</sub> .....	24
FIGURE 12: LOCALISATION DE L'ÎLOT.....	27
FIGURE 13: SURFACE SOLAIRE UTILE POUR L'ILOT DE PLAINPALAIS (787M <sup>2</sup> ).....	28
FIGURE 14: PÉRIMÈTRE MOYEN DE L'ÎLOT .....	28
FIGURE 15: RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION MOYENNE JOURNALIÈRE D'EAU DANS UN IMMEUBLE LOCATIF	30
FIGURE 16: CUMUL JOURNALIER DES PUISAGES D'ECS .....	32
FIGURE 17: CUMUL DES PUISAGES ET DROIT DE PUISSANCE MINIMALE .....	33
FIGURE 18: VARIATION DU STOCK D'ECS - 24H (VOLUME NÉGATIF).....	33
FIGURE 19: VARIATION DU STOCK D'ECS - 24H.....	34
FIGURE 20: COURBE D'ÉGALE SATISFACTION DES BESOINS EN ECS.....	35
FIGURE 21: SIGNATURE ÉNERGÉTIQUE (CHAUFFAGE).....	37
FIGURE 22: SIGNATURE ÉNERGÉTIQUE (CHAUFFAGE + ECS) .....	37
FIGURE 23: CONSOMMATION POUR LE CHAUFFAGE ET L'ECS.....	38
FIGURE 24: TEMPÉRATURES - DISTRIBUTION ET RETOUR .....	41
FIGURE 25: TEMPÉRATURE MOYENNE DANS LES CAPTEURS SOLAIRES - (ESOP VERSION 4.0 R4).....	45
FIGURE 26: ÉNERGIE VALORISABLE – A GAUCHE : CAPTEURS PLAN NON VITRÉS, A DROITE : CAPTEURS TUBES SOUS VIDE .....	45
FIGURE 27: COUVERTURE DES BESOINS ET ÉNERGIE VALORISÉE EN FONCTION DE LA SURFACE INSTALLÉE – CAPTEURS NON VITRÉS.....	47
FIGURE 28: COUVERTURE DES BESOINS ET ÉNERGIE VALORISÉE EN FONCTION DE LA SURFACE INSTALLÉE – CAPTEURS SOUS VIDE .....	47
FIGURE 29: BESOINS + APPORTS SOLAIRE (CAPTEUR NON VITRÉS) .....	48
FIGURE 30: VARIATION JOURNALIÈRE DU STOCK [M <sup>3</sup> ] .....	48
FIGURE 31: BESOINS ET APPORTS SOLAIRES JOURNALIERS (AVEC 457M <sup>2</sup> DE COLLECTEURS) .....	50
FIGURE 32: BESOINS ECS ET APPORTS SOLAIRES - HEURE PAR HEURE (JUN).....	50
FIGURE 33: EXEMPLE : ZOOM SUR LES BESOINS ECS ET APPORTS SOLAIRES - HEURE PAR HEURE .....	51
FIGURE 34: STOCK DURANT LA PÉRIODE ESTIVALE.....	51
FIGURE 35: VOLUME DU STOCKAGE EN FONCTION DE LA SURFACE SOLAIRE THERMIQUE INSTALLÉE.....	52
FIGURE 36: BESOINS ET APPORTS SOLAIRES (550M <sup>2</sup> DE PANNEAUX SOLAIRES).....	53
FIGURE 37: BESOINS DE CHALEUR AVANT L'INTÉGRATION DE PANNEAUX SOLAIRES.....	54
FIGURE 38: BESOINS DE CHALEUR APRÈS L'INTÉGRATION DE PANNEAUX SOLAIRES.....	54
FIGURE 39: ÎLOT NON-AUTONOME (ID ILOT = 24) .....	56
FIGURE 40: DIMINUTION DES DEGRES-JOURS DEPUIS 1960 (SOURCE: METEOSUISSE) .....	61
FIGURE 41: BESOINS TYPIQUES DE BATIMENTS A GENEVE (SOURCE : (GIRARDIN L. E., 2009)).....	63
FIGURE 42: PART D'ENERGIE COUVERTE PAR UN AGENT ENERGETIQUE INCONNU .....	64

## 1 Introduction

L'énergie, moteur de la croissance économique. Charbon, pétrole, gaz et uranium se succèdent au fil du temps pour fournir à la société les apports nécessaires à son développement. Mais cette croissance fulgurante a bien évidemment son prix. Le Terre se réchauffe, les spécialistes tentent de tirer la sonnette d'alarme. Rien à faire, le baril reste trop compétitif.

Aujourd'hui, après quelques crises pétrolières, marées noires et autres catastrophes naturelles dévastatrices, les consciences s'éveillent gentiment. Les dérèglements climatiques et leurs conséquences font peu. Les spéculations sur l'épuisement des stocks de pétroles vont bon train. La popularité des énergies fossiles est en perte de vitesse. Le vert est à la mode ; les énergies renouvelables ont le vent en poupe.

Les pays industrialisés ont longtemps profité de cette prospérité économique ; ils s'attellent aujourd'hui à trouver des solutions. Conséquence, le monde académique, la recherche et l'industrie emboitent le pas. On sait que la réduction de la consommation énergétique n'est pas forcément synonyme de baisse de confort, elle passe avant tout par une meilleure efficacité des systèmes énergétiques. Bien entendu, cette amélioration nécessite des investissements importants, mais surtout indispensables.

Ce travail s'inscrit, à petite échelle, dans cette mouvance.

### 1.1 Contexte du projet

Le présent travail s'inscrit dans la lignée d'un précédent projet qui avait été soumis à l'OFEN, dans le cadre du Plan National de Recherche (PNR). Le projet originel fut lancé au printemps 2013 par la Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (Hépi) en collaboration avec l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Pour des *motifs discutables*, ce projet n'a pas été retenu.

Les Services Industriels de Genève (SIG), plus particulièrement Eco21 et le programme Chaleur Renouvelable, ont alors décidé de redonner un souffle à ce projet plein de sens. Initié en 2007, programme Eco 21 vise à accompagner les particuliers, ainsi que les entreprises, à baisser leurs consommations d'énergie. Les différentes actions menées par le groupe l'ont notamment permis de remporter le *Watt d'Or 2013*, un label d'excellence énergétique décerné par l'Office Fédéral de l'Energie (OFEN). *Chaleur Renouvelable* est la branche d'Eco21 consacrée à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans le domaine de l'habitat. Le programme offre une compensation financière aux particuliers au prorata des tonnes CO<sub>2</sub> économisées suite à l'intégration d'énergie renouvelable dans le système de production. Après une première campagne de courrier adressée aux propriétaires de villas en janvier 2014, *Chaleur Renouvelable* souhaite maintenant étendre ses prestations et inciter les propriétaires d'immeubles au centre ville.

### 1.2 But

En Suisse, les ménages représentent environ 28% de la consommation totale d'énergie (OFEN, 2012); ils représentent le deuxième secteur le plus gourmand en énergie après les transports. Les technologies existantes peuvent aujourd'hui faire baisser, voire supprimer la part d'énergies fossiles. Les toits et façades des bâtiments offrent par

exemple de gigantesques surfaces pour la collecte d'énergie qui sont, à l'heure actuelle, quasiment pas exploités.

Le présent projet a pour but, de sélectionner un échantillon bien précis de bâtiments et de faire ressortir les caractéristiques, ceci afin de démontrer dans un deuxième temps que l'intégration d'énergie renouvelable n'est pas incompatible avec les immeubles anciens. Il tente de ramener l'échelle d'un immeuble à l'échelle de l'îlot ; nouvelle échelle, jusqu'ici peu exploitée. Les îlots urbains sont des bâtiments qui prennent une configuration spatiale singulière que l'on retrouve dans plusieurs villes européennes. Ces édifices sont disposés de telle manière que leurs façades intérieures dessinent une cour centrale, commune à tout l'îlot. Ainsi, ils forment des unités spatiales bien distinctes, à une échelle intéressante qui se situe entre le bâtiment et le quartier.

L'étude se focalise sur les îlots constitués exclusivement de bâtiments anciens. Cependant, de par leurs époques de construction, ces immeubles sont automatiquement protégés par la loi. Lors de l'assainissement énergétique d'un bâtiment, la pratique et le bon sens veulent que l'on procède d'abord à une rénovation de l'enveloppe afin de limiter les déperditions. Le changement du système de production de chaleur ne vient alors que dans un deuxième temps. Or, sous prétexte que les façades sont protégées et intouchables, ces bâtiments continuent d'émettre tranquillement des quantités incroyables de CO<sub>2</sub> sans que personne n'agisse ni n'intervienne.

Fort de ce constat, le programme de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> d'Eco21 souhaite porter ce projet et développer des scénarios *types* pour intégrer une part d'énergie renouvelable; sans attendre que des mesures sur l'enveloppe soient prises.

### 1.3 Justification

L'intégration d'un système de production de chaleur centralisé présente plusieurs avantages ainsi que quelques inconvénients.

#### *Avantages*

- La production d'énergie à plus grosse échelle présente des meilleurs rendements de l'utilisation du combustible, et donc réduction des agents polluants.
- La centralisation des installations permet de faire baisser les frais de réglage et d'entretien (par ex. : la réduction du nombre de foyers et de cheminées réduit par conséquent les frais de ramonage).
- Encombrement totale des installations (réduction du volume total).
- Préparation à l'arrivée d'un éventuel chauffage urbain à distance; plus besoin de connecter tous les immeubles, la station de relais est déjà en place.

#### *Inconvénients*

- Nécessite une étude plus approfondie.
- Nécessite des frais d'investissement supérieurs pour les équipements. Cependant, les frais d'exploitation sont moindres dû à la centralisation des installations. D'autre part, l'énergie soutirée à l'environnement est gratuite.
- Dans le cas où les conduites ou le stockage se trouvent à l'air libre, les pertes par déperdition thermique sont plus élevées (en fonction de la qualité de l'isolation).

### 1.4 Déroulement du projet

La première partie du projet consiste à mettre en avant une certaine catégorie de bâtiments et d'en extraire le maximum d'informations qui pourraient s'avérer utiles pour le dimensionnement de futures installations intégrant une part d'énergie



renouvelable. La deuxième partie de travail consiste à modéliser les besoins ainsi que les apports solaires d'un îlot en particulier, afin d'en observer le comportement en fonction de certains paramètres. Ensuite, il sera question de quantifier la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> pour les îlots. Pour finir quelques aspects juridiques seront abordés. Il s'agit de quelques dispositions légales qui devront nécessairement être prises en considération au moment de la réalisation d'un tel projet.

## **2 Localisation et caractérisation des îlots en Ville de Genève**

### **2.1 Motivation**

Ce chapitre explique les différentes étapes du recensement, de la localisation et de la caractérisation des îlots répondant à certains critères spécifiques. Le but est de mettre en avant et de quantifier le gisement énergétique d'une catégorie bien précise de bâtiments. Cela permet, entre autres, de classer les îlots en fonction de leurs caractéristiques mis en avant (consommation totale, l'âge moyen des chaudières et l'agent énergétique utilisé).

A partir de ces données, il est ensuite possible d'en déduire les émissions CO<sub>2</sub> engendrées par ces îlots. Dans un deuxième temps, le potentiel de réduction d'émissions de CO<sub>2</sub> sera calculé pour l'ensemble des îlots présents en Ville de Genève.

La recherche se focalise sur des bâtiments qui possèdent tous, grossièrement, les mêmes types de besoins et de caractéristiques (à différentes échelles). Une telle recherche, ciblée et restrictive, se justifie par le fait que les solutions énergétiques pour un îlot type, proposées plus loin dans ce travail pourront, moyennant des ajustements en fonction des particularités propres à chaque îlots, être transposées et appliquées à l'ensemble des bâtiments sélectionnés. Ces valeurs concrètes sont des indications intéressantes pour la communication ainsi que pour la prise de décision.

Ce chapitre est composé de deux parties distinctes:

- Sélection et localisation des îlots
- Quantification et caractérisation des îlots sélectionnés

Les résultats de la deuxième partie de ce chapitre sont basés exclusivement sur les données de l'année 2010 ; ceci se justifie par la raison suivante. Lors du décompte annuel des degrés-jours, la somme des degrés-jour est ajustée par un facteur de correction saisonnier proportionnel à la température moyenne sur l'année. Ceci permet de suivre l'évolution de la consommation des bâtiments d'année en année, sans que les variations soient imputables aux écarts de température. Ainsi, il est possible d'apprécier et de quantifier l'effet d'une éventuelle rénovation. En ce qui concerne l'année 2010, le facteur de correction saisonnier vaut 1.000 ; c'est donc une année de référence.

### **2.2 Méthodologie**

A priori, la localisation et la sélection des îlots peut sembler être un jeu d'enfant. Cependant, la diversité, la variabilité et la complexité de certains îlots rendent la tâche plus complexe qu'elle ne paraît. En effet, il n'y a pas deux îlots identiques. Il convient donc de se fixer et de suivre une procédure claire et précise préalablement établie. Le présent chapitre présente la méthodologie suivie, les réflexions ainsi que les différentes étapes qui ont mené à la sélection d'une catégorie d'îlots bien précise.

### 2.2.1 Remarques préliminaires

La recherche des îlots s'est essentiellement basée sur l'utilisation de données provenant de l'outil « système d'information du territoire à Genève » (SITG) ainsi que sur les différentes images disponibles sur *Google Maps* et *Google Street View*. Le programme de système d'information géographique (SIG, *GIS en anglais*) *ArcGIS*, a servi à la numérisation des polygones représentant les îlots ainsi qu'au traitement des données relatives aux bâtiments sélectionnés.

Dans un premier temps, différentes couches contenant des informations intéressantes provenant de l'outil *SITG* ont été importées dans *ArcGIS* ; il s'agit notamment des couches suivantes :

- Ortho-photo du territoire genevois  
*Image satellite géo-référencée servant de fond cartographique*
- Bâtiments Hors-sol  
*Dimensions des bâtiments, époques de construction, ...*
- Indice de dépense de chaleur (IDC)  
*Surface de Référence Énergétique (SRE), IDC, consommation annuelle, ...*
- Chaudières  
*Puissance de chaudière, agent énergétique, année de mise en service,...*
- Cadastre solaire  
*Orientation et inclinaison des toitures, irradiation (mensuelle, annuelle,...)  
surface utile*

### 2.2.2 Systématique de recherche des îlots

L'exploration et la recherche d'îlots ont été réalisés quartier par quartier grâce à l'outil *Google Maps* qui offre une vue à 45° de la ville. Cette option permet une visualisation plus aisée des reliefs, des structures et des façades des bâtiments.

Une fois un îlot repéré, les caractéristiques des bâtiments qui le constituent sont scrutées sur *ArcGIS* grâce aux informations se trouvant sur la couche *bâtiments hors-sol*. Si l'îlot répond aux critères de sélection (voir ci-dessous), il est digitalisé et sauvegardé. L'ensemble des polygones représentant chaque bâtiment sont alors fusionnés pour ne former qu'un seul polygone. Voir exemple à la Figure 1.

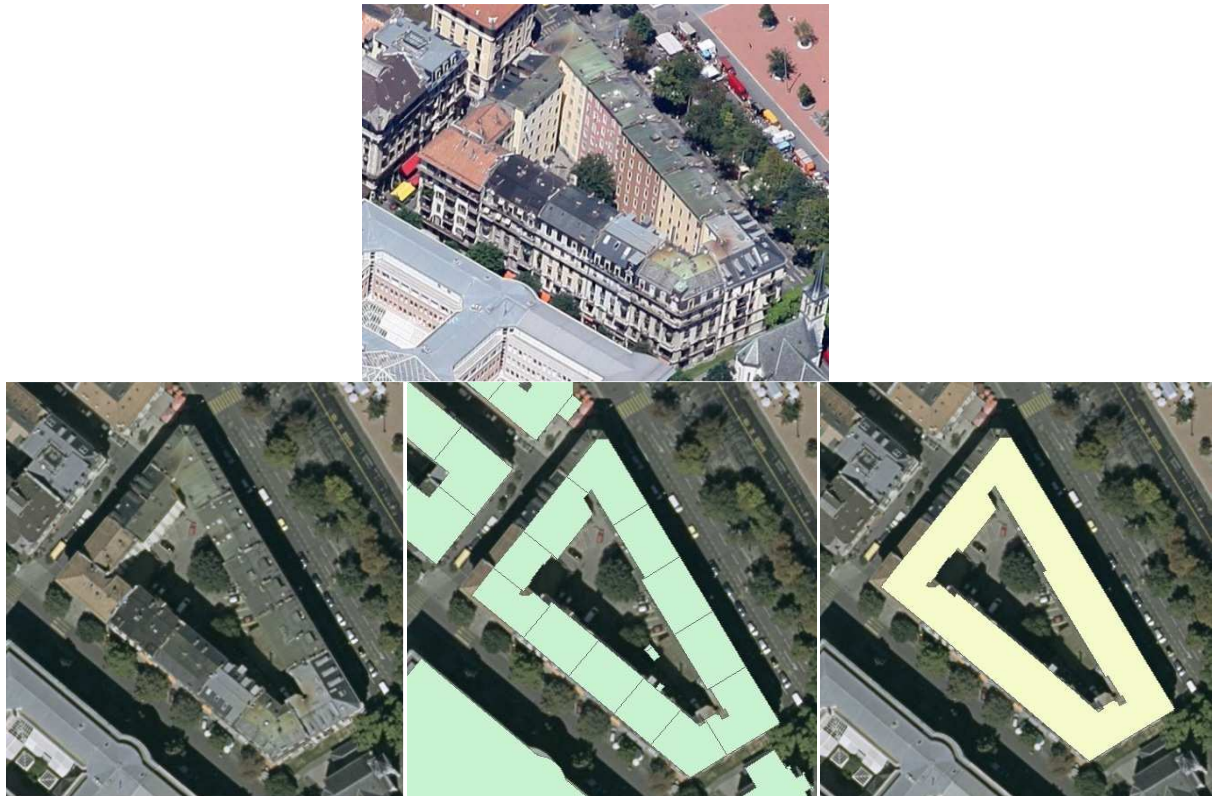


Figure 1: Exemple de digitalisation d'un îlot – Plainpalais (source : ArcGIS)

L'outil *SITG* est très complet et fiable dans son ensemble. Néanmoins, il peut arriver que certaines valeurs soient ponctuellement manquantes, ou même (très rare) inexactes. De manière générale, les constructions abritant du logement sont fort heureusement les bâtiments les mieux référencés à Genève, ce qui est plutôt rassurant pour cette étude.

Globalement, la stratégie de localisation des îlots consiste à faire plusieurs va-et-vient entre *ArcGIS* et *Google Maps* pour comparer et confirmer les informations disponibles respectivement sur une plateforme et sur l'autre.

### 2.2.3 Critères de sélection – premier essai

Une première série de critères avait été élaborée. L'îlot devait alors :

- avoir au minimum 3 faces contigües,
- être constitué uniquement de bâtiments anciens,
- être constitué de bâtiments uniquement affectés au logement,
- avoir une cour intérieure accessible et libre de toute construction.

Après une recherche basée sur ces critères, ceux-ci se sont vite révélés être bien trop restrictifs ; il n'existe quasiment aucun îlot qui réponde à toutes ces exigences à la fois. Il a donc fallu revoir et assouplir ces critères afin de constituer un parc suffisamment grand et intéressant lui conférant une certaine importance.

## 2.3 Critères de sélection des îlots

### 2.3.1 Aspect, disposition et aménagement de l'îlot

L'îlot forme une unité élémentaire de l'espace urbain (Wikipédia), il s'inscrit dans une harmonie et une continuité spatiale logique. La caractéristique principale d'un îlot est bien évidemment son aménagement et sa disposition dans l'espace. Une cour intérieure, formée par les façades internes des bâtiments, dessine un espace commun qui rassemble et unit les bâtiments.

Initialement conçu pour abriter un espace calme et paisible, cet espace est aujourd'hui passablement dégradé au sein de plusieurs îlots, notamment au centre ville ; détériorant ainsi la qualité de vie des riverains. En effet, grand nombre de cours intérieures sont aujourd'hui totalement construites et exploitées ; on y trouve ainsi des ateliers, des garages, des dépôts et autres bâtiments commerciaux. Dans le cadre de la présente étude, seuls les îlots dont les cours intérieures étaient libres ou partiellement occupées ont été sélectionnés. Ceux présentant des cours intérieures encombrées n'ont pas été retenus (exemple Figure 2).



Figure 2: Îlot avec cour intérieure encombrée (source: Google Maps)

Pour former un îlot, on considère donc qu'il faut minimum 3 façades afin de délimiter clairement un espace commun. Cependant, les îlots présentant uniquement 2 faces sont également pris en compte à condition que les 2 pans forment un angle aigu inférieur à (environ)  $60^\circ$ , dessinant ainsi une forme triangulaire. Ce critère permet d'obtenir une cour intérieure clairement définie (voir Figure 3 ).

Les regroupements d'immeubles formant un "L" ne sont donc pas sélectionnés (voir Figure 4).





Figure 3: Îlot à 2 faces – quartier des Grottes (source : Google Maps)

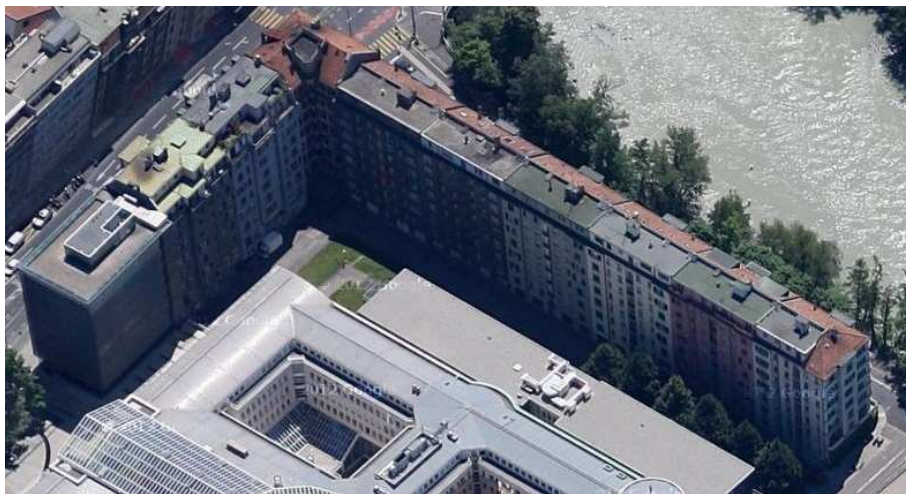


Figure 4: Îlot en "L" non sélectionné (source: Google Maps)

Contrairement à ce qui avait été pensé dans un premier temps, la contigüité des façades ne doit pas être un critère restrictif. Si la géométrie et la disposition des bâtiments évoquent la forme d'un îlot, celui-ci est sélectionné (pour autre qu'il remplisse les autres critères). Voir Figure 5.



Figure 5: Îlots à façades non contigües - quartier des Grottes (source : Google Maps)



### 2.3.2 Epoques de construction

L'outil en ligne SITG donne les époques de construction pour la plupart des bâtiments. Comme il a été évoqué à plusieurs reprises, la présente étude porte sur les îlots constitués de bâtiments anciens, c'est-à-dire dans le cas présent, les bâtiments antérieurs à 1945. Pour qu'un îlot soit retenu, il faut donc qu'il soit constitué en grande partie par des anciens bâtiments. Les bâtiments plus modernes sont également intégrés pour autant qu'ils fassent partie intégrante de l'îlot.

### 2.3.3 Affectation des bâtiments

L'étude se focalise sur les bâtiments dédiés au logement ; seuls les îlots constitués d'au moins 75% de logement sont sélectionnés. Les bâtiments avec une affectation autre que "logement" faisant partie intégrante de l'îlot sont également intégrés. Dans le cas où la part des bâtiments non dédiés au logement dépasse 25%, l'îlot n'est pas sélectionné. En outre, les bâtiments d'habitations abritant des commerces ou d'autres arcades uniquement au rez-de-chaussée sont considérés comme des logements.

## 2.4 Manipulations sur ArcGIS

Premièrement, chaque îlot s'est vu attribuer un identifiant correspondant à un objet unique afin de pouvoir agréger des informations par la suite ; cet identifiant a été affecté à chacun des bâtiments qui constitue l'îlot. Ceci permet d'effectuer des sommes et d'autres calculs avec une caractéristique commune à l'îlot. Ensuite, l'ensemble des couches représentant les îlots ont été regroupées pour ne former plus qu'une seule couche.

Dans l'étape suivante, il s'agissait de mettre en relation les polygones représentant les îlots avec les informations contenues dans la couche « bâtiments hors-sol ». Pour ce faire, il a fallu créer une jointure spatiale (basée sur la localisation géographique des différentes couches) afin de rapatrier les données d'une couche à une autre.

Etant donné que les formes géométriques d'une couche et d'une autre ne sont pas parfaitement et strictement superposées, plusieurs bâtiments indésirables de petite taille ont été agrégés à la couche des îlots lors de la jointure spatiale. Ces bâtiments « parasites » ont été supprimés manuellement.

Les couches des bâtiments hors sol, celles des IDC et du cadastre des chaudières ont été mises en relation grâce à une jointure attributaire, c'est-à-dire avec un identifiant commun aux trois couches. Dans le cas présent, les deux couches ont été mises en relation grâce à l'«*egid*». Il s'agit d'un identificateur fédéral unique attribué par le Registre fédéral des bâtiments et des logements.

Bien que les bases de données de ces différentes couches soient bien fournies, il arrive qu'il manque ponctuellement une ou plusieurs informations pour un bâtiment donné. Afin de constituer un parc d'îlot complet, les valeurs manquantes ont été estimées.

### 2.4.1 Estimation des valeurs manquantes

Certains bâtiments ne présentent aucune donnée de consommation dans la base de données ; les propriétaires de bâtiments n'ont vraisemblablement pas encore transmis ces informations. Pour éviter qu'un îlot ne soit considéré, à tort, comme un petit consommateur d'énergie, des IDC (Indice de Dépense de Chaleur) types ont été attribués aux immeubles dont les données sont manquantes, en tenant compte de l'affectation

ainsi que de l'époque de construction. Ces données ont été tirées de la publication *EnerGis* (Girardin L. , 2009) ; elles sont disponibles à l'Annexe 1.

Quelques rares bâtiments ne présentent pas de date ni même d'époque de construction. Dans ce cas, l'époque de construction est estimée *à l'œil*, notamment à l'aide de Google Street View et Google Maps, qui permettent une bonne visualisation des façades et des toitures.

Enfin, lorsque l'IDE fait défaut, la surface de référence énergétique (SRE) manque souvent aussi étant donné que ces deux informations sont stockées dans la même couche d'information, c'est-à-dire dans le même tableau de données. Dans ce cas, la SRE est estimée en multipliant la surface au sol du bâtiment (information toujours disponible) par le nombre de niveaux. Si cette dernière donnée vient à manquer, le nombre d'étage est approximé en divisant la hauteur totale de l'immeuble (information toujours disponible) par 3.3m.

## 2.5 Résultats

### 2.5.1 Généralités

<b>Nombre d'îlots sélectionnés</b>	156
<b>Nombre d'immeubles</b>	1525
<b>Nombre moyen d'allées par îlot</b>	9.78

<b>Bâtiments antérieurs à 1945</b>	1114 (73%)
<b>Bâtiments avec affectation logement</b>	1451 (95%)

**Tableau 1: Résultats généraux**

Un total de 241 bâtiments (16%) se sont vu attribuer un IDC selon la publication *EnerGis* (L. Girardin). L'époque de construction de 39 bâtiments (2.5%) est issue d'une estimation visuelle. Les 74 bâtiments n'appartenant pas à la catégorie logement sont en majorité des bureaux, mais aussi, dans une moindre mesure, des hôtels, des restaurants, des EMS et d'autres type de résidences.

### 2.5.2 Consommation annuelle d'énergie

La Figure 6 représente l'histogramme des répartitions de la consommation énergétique des îlots.

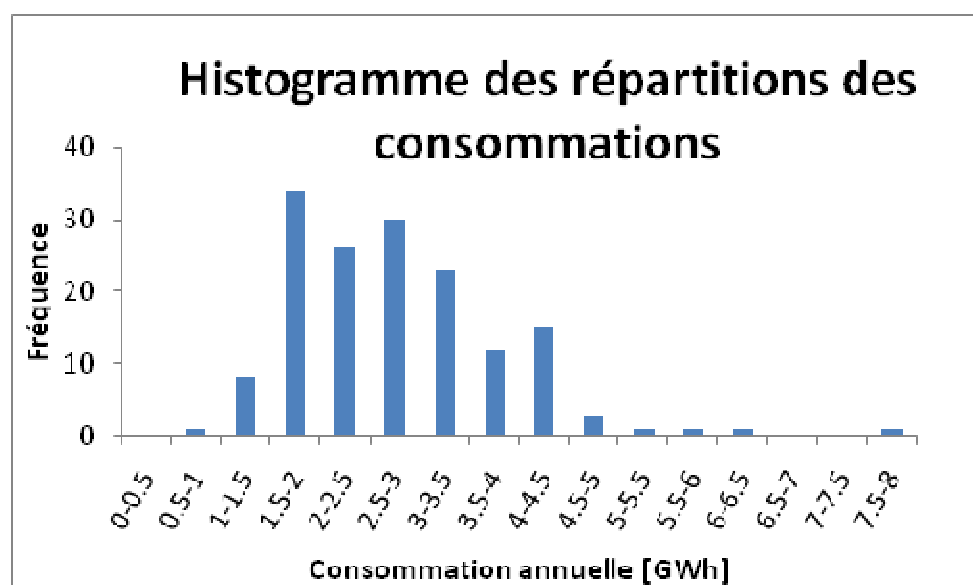


Figure 6: Répartitions de la consommation

La moyenne de consommation annuelle des îlots se situe à 2.29 GWh. Le Tableau 2 donne quelques informations statistiques sur la consommation de l'échantillon sélectionné.

<b>Moyenne par îlot</b>	2.29 GWh
<b>Ecart-type</b>	1.06 GWh
<b>Min</b>	0.4 GWh
<b>Max</b>	7.2 GWh

Tableau 2: Consommation - Données statistiques de répartition

La consommation énergétique totale des 156 îlots retenus représente 358 GWh.

La Figure 7 représente la consommation annuelle des îlots sélectionnés grâce à un code de couleur. Il s'agit des valeurs de consommation de l'année 2010.

<b>Consommation cumulée des îlots</b>	358 GWh
<b>Consommation du Canton Genève</b>	5645 GWh
<b>Part de consommation des îlots</b>	6.3 %

Tableau 3: Consommation totale des îlots sélectionnés par rapport à la consommation du Canton

Les 5645 GWh (Tableau 3) représentent la consommation de mazout et de gaz pour le chauffage sur l'ensemble de canton de Genève en 2010 ; tous secteurs de consommation confondus. La consommation totale d'énergie (y inclus l'électricité, gaz, mazout, charbon, bois et autres carburants) s'élève à 11'404 GWh (OCSTAT, 2013).



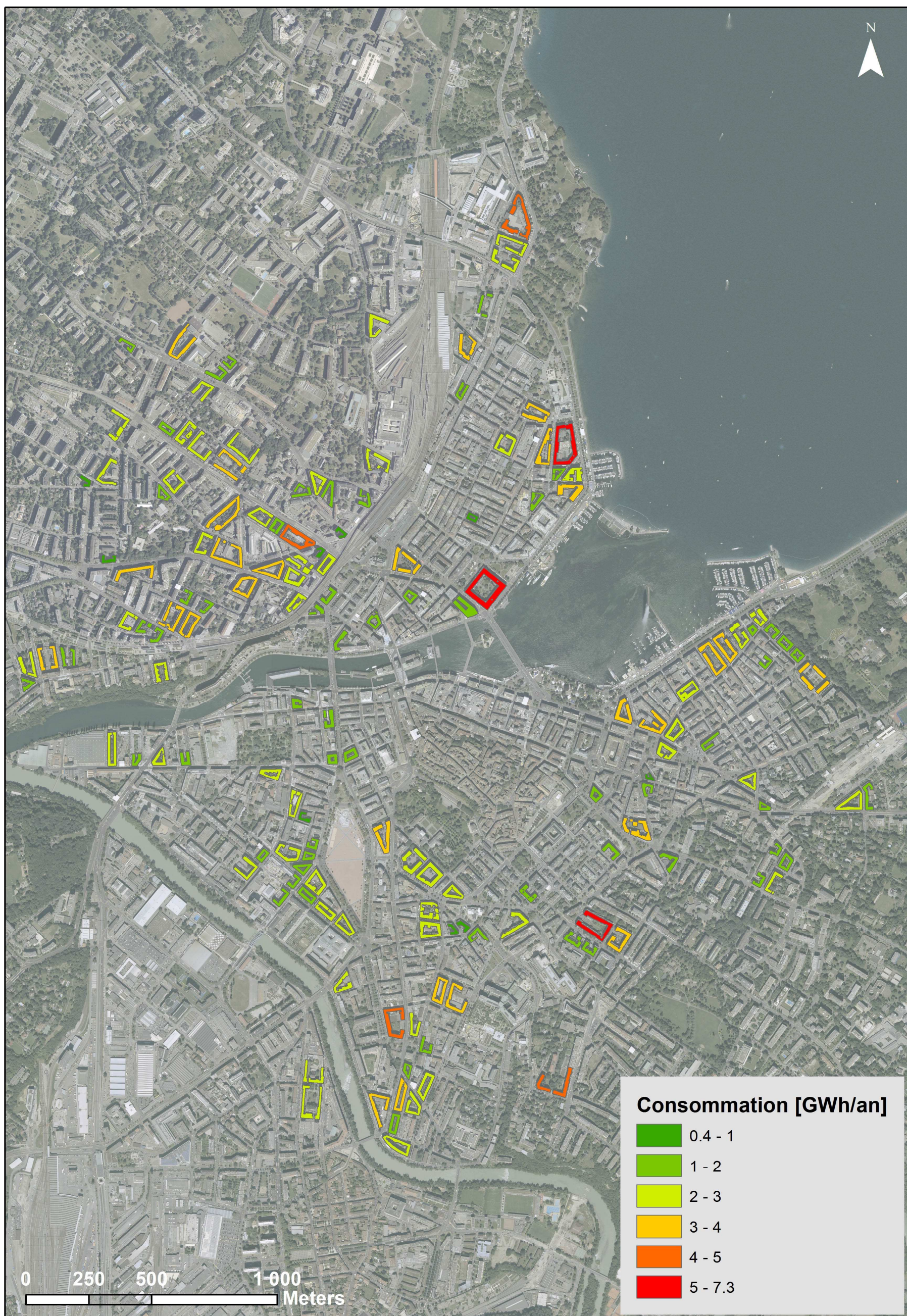


Figure 7: Consommation des îlots sélectionnés



### 2.5.3 Âge des chaudières

L'outil en ligne SITG répertorie l'ensemble des chaudières sur le canton ; la date de mise en service est automatiquement associée à chaque chaudière. Ceci permet de dresser l'âge moyen des chaudières présentes dans chacun des îlots. L'âge correspond à l'année de mise en service moins l'année en cours (2014).

Les installations plus anciennes présentent généralement des rendements bien plus faibles que les chaudières utilisant des technologies plus récentes. La durée de vie des chaudières étant un indicateur important de l'état de vétusté des équipements ; elle peut être utilisée comme un des critères déterminants pour cibler les installations qui doivent être rénovées en priorité. La Figure 8 montre la répartition des âges moyens des chaudières par îlot.

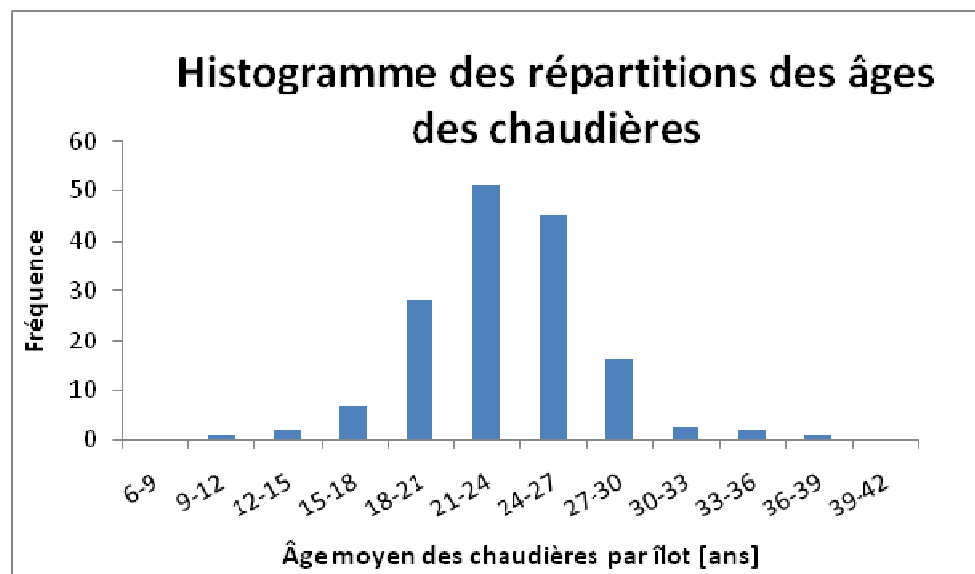


Figure 8: Âge des chaudières

Le Tableau 4 donne quelques valeurs statistiques sur cette répartition.

Âge moyen	21 ans
Ecart-type	4 ans
Min	7 ans
Max	36 ans

Tableau 4: Âge des chaudières - Données statistiques de répartition





Figure 9: Âge des chaudières



#### 2.5.4 Répartition Mazout et Gaz

A Genève, la quasi-totalité des allées sont chauffées par des chaudières à mazout ou des chaudières à gaz. Sachant que le gaz est environ 1/3 moins polluant par rapport au mazout en terme de CO<sub>2</sub> émis par unité d'énergie, il convient de cibler, en priorité, les îlots dont les allées sont équipées de chaudière à mazout.

La Figure 10 montre la répartition des agents énergétiques par îlot. Un îlot représenté en jaune indique que la production de chaleur y est essentiellement assurée par des chaudières à mazout. A l'inverse, les îlots approvisionnés par du gaz naturel sont représentés plutôt en brun. Ainsi, les valeurs numériques associées à chaque couleur correspondent aux ratios d'agents énergétiques consommés (0= 100% mazout, 1=100% gaz).

	GWh	%
<b>Mazout</b>	212	59.2
<b>Gaz naturel</b>	131	36.6
<b>Agent inconnu</b>	15	4.2

**Tableau 5: Répartition des agents énergétiques au sein des îlots sélectionnés**

Étant donné que les agents énergétiques ne sont pas connus pour toutes les allées, il faut prendre cette information avec précaution. En effet, les informations de la Figure 10 ne prennent en compte que les bâtiments pour lesquels l'agent énergétique est effectivement connu. Il y a donc une part (faible) d'îlots où la répartition mazout/gaz ne reflète par nécessairement la réalité. La carte de la « fiabilité » de ces informations ainsi que quelques explications supplémentaires se trouve à l'Annexe 2.





Figure 10: Répartition des agents énergétiques



### 2.5.5 Emissions de CO<sub>2</sub>

A partir de la consommation totale et de la répartition des agents énergétiques par îlots, il est possible de créer une nouvelle carte thématique illustrant les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Les facteurs d'émission par unité d'énergie ayant servi à la réalisation de la carte se trouvent ci-dessous, dans le Tableau 6.

	[kg CO <sub>2</sub> /kWh]
<b>Mazout</b>	0.2653
<b>Gaz</b>	0.1980

**Tableau 6: Facteur d'émission de CO<sub>2</sub> par unité d'énergie, (OFEV, 2012)**

Le facteur d'émission pour l'agent inconnu est fixé à 0.2396 [kg CO<sub>2</sub>/kWh]. Il s'agit d'une moyenne entre les facteurs d'émission du mazout et du gaz, pondéré par rapport à leur distribution au sein des îlots.

$$\frac{1}{358 - 15} (212 \cdot 0.2653 + 131 \cdot 0.198) = \mathbf{0.2396} \text{ [kg CO}_2\text{/kWh]}$$

La Figure 11 représente les quantités de CO<sub>2</sub> émises pour chaque îlot. Le Tableau 7 donne les principales valeurs statistiques de l'échantillon.

<b>Emission totale des îlots</b>	85'725 tonne
<b>Moyenne par îlot</b>	550 tonne
<b>Ecart-type</b>	264 tonne
<b>Min</b>	98 tonne
<b>Max</b>	1'662 tonne

**Tableau 7: Données statistiques - émissions de CO<sub>2</sub> pour les îlots sélectionnés**

Le Tableau 8 compare les émissions des îlots aux émissions du Canton de Genève. Les émissions imputables aux carburants pour l'aviation ne sont pas comptabilisées dans les émissions totales du Canton (OCSTAT, 2013).

<b>Emission provenant du mazout</b>	56'210 tonne
<b>Emission provenant du gaz</b>	25'909 tonne
<b>Emission totale des îlots</b>	85'725 tonne
<b>Emission totale du Canton</b>	1'349'938 tonne
<b>Part d'émission des îlots</b>	6.35 %

**Tableau 8: Emission CO<sub>2</sub> par rapport aux émissions du Canton**





Figure 11: Emissions de CO<sub>2</sub>



### 2.5.6 Cadastre solaire

Depuis 2012, l'outil en ligne SITG donne l'irradiation moyenne par toiture pour tous les bâtiments du Canton de Genève. Les informations ont été calculées à partir du modèle 3D du Canton de Genève ainsi qu'à l'aide du modèle numérique de surface effectué en 2009 (mesures LiDAR, précision : 0.5m x 0.5m). Ces données sont issues de la première phase du projet « Cadastre Solaire du Canton de Genève ». La deuxième phase de ce projet consiste à donner une analyse plus fine des parties des toitures utiles ; c'est-à-dire les surfaces propices à l'intégration de panneaux solaires (thermiques ou photovoltaïques).

Afin de cibler les surfaces utiles, celles-ci répondent à trois critères. Premièrement, les pixels doivent avoir une irradiation supérieure à 1000 [kWh/m<sup>2</sup>·an], permettant d'écarter les surfaces mal orientées ou simplement obstruées significativement par des objets proches (autre immeuble, arbre, etc.). Deuxièmement, les parties à moins d'un mètre du bord des toitures ne sont pas considérées comme utiles. Et pour finir, seules les surfaces supérieures à 5 m<sup>2</sup> ont été conservées. Ce seuil permet de sélectionner uniquement les surfaces à partir desquelles des installations deviennent envisageables.

Les toits plats sont automatiquement corrigés de manière à disposer de la surface et de l'irradiation moyenne qu'ils auraient avec des panneaux inclinés à 30° et orientés plein sud.

Les surfaces disponibles ainsi que l'irradiation moyenne de chaque bâtiment ont été agrégées par îlot. Ainsi, tous les îlots possèdent une seule surface utile et une seule irradiation moyenne (pondérée par surface utile). Le Tableau 9 présente la surface et l'irradiation moyenne sur l'ensemble des îlots sélectionnés.

<b>Surface moyenne par îlot</b>	693 m <sup>2</sup>
<b>Irradiation moyenne</b>	1139 kWh/m <sup>2</sup> ·an

Tableau 9: Surface et irradiation moyenne des îlots

La Figure 13 au chapitre suivant, illustre l'exemple d'un îlot et de sa surface utile.

Bien évidemment, la totalité de l'irradiation incidente sur les toitures n'est pas exploitable. Premièrement, la collecte d'énergie est limitée par le rendement optique des capteurs solaires. Deuxièmement, il faut disposer d'un dispositif suffisamment grand pour stocker l'énergie lorsque la production dépasse les besoins.

Ces deux paramètres seront discutés dans la deuxième partie de ce travail.

Pour l'heure (juin 2014), les résultats de la deuxième phase du projet « Cadastre Solaire du Canton de Genève » n'ont pas encore fait l'objet d'une publication sur le site en ligne SITG. La couche contenant ces informations devrait être disponible dans le courant de l'année.

### 2.6 Commentaires

Il convient de préciser, ici, que les éventuels petits ateliers, garages privés ou autres bâtiments localisés dans les cours intérieures ne sont pas pris en considération dans le calcul des besoins en énergie par îlot. Seuls les besoins pour les logements sont évalués.

Les résultats présentés ci-dessus correspondent à une recherche effectuée uniquement dans le périmètre de la Ville de Genève. Cependant, mis à part dans le quartier de

Carouge, il n'existe pas d'autres îlots correspondants aux critères évoqués plus haut dans le Canton de Genève. En effet, les logements collectifs que l'on rencontre en dehors du centre ville sont généralement des barres d'immeubles, postérieures à 1945. Pour le reste, les logements sont essentiellement constitués de villas individuelles.

Les critères de sélection sont plutôt restrictifs (même après le réajustement des critères). Seule une classe d'îlots a été sélectionnée ici. Il reste encore beaucoup d'îlots « *en liberté* » (avec des époques de construction plus récentes et des affectations différentes) pour lesquels il existe également des solutions énergétiques intégrant du renouvelable. Le quartier de Stand, par exemple, regorge de jolis petits îlots dédiés principalement aux bureaux.

Les quartiers des Eaux-Vives et des Pâquis ont la particularité d'abriter plusieurs îlots dont les cours intérieures sont très encombrées (garages, ateliers, dépôts, ...). Ces îlots n'ont donc pas été sélectionnés, bien qu'ils correspondent en tous points aux autres critères. La Vieille Ville présente également quelques îlots dont les cours intérieures sont très exploitées.

Une fois de plus, il est important de rappeler que les résultats présentés ci-dessus ont été calculés à partir de données présentes dans l'outil SITG, et dans une petite mesure, à partir d'estimations. Il n'est naturellement pas possible de contrôler manuellement toutes ces informations; les résultats doivent donc être utilisés en connaissance de cause. Néanmoins ces résultats donnent une bonne représentation globale. Bien évidemment, lors de tous travaux futurs, des études plus poussées devront être effectuées, en incluant notamment une prestation d'ingénieur afin de définir les besoins réelles et exacts de chaque îlot.

Les valeurs précises ayant servi à la réalisation des cartes ci-dessus sont toutes disponibles à l'Annexe 3.

### 3 Modélisation d'un Îlot - Plainpalais

Dans cette deuxième partie du travail, Il s'agit maintenant de choisir un îlot type afin de procéder à une modélisation à l'aide du logiciel Matlab. L'îlot sélectionné se situe dans le quartier de Plainpalais, à l'extrême pointe sud de la plaine (voir Figure 12). Il s'agit d'un îlot constitué uniquement d'immeubles locatifs datant de la fin du XIX<sup>ème</sup> et du début du XX<sup>ème</sup> siècle.

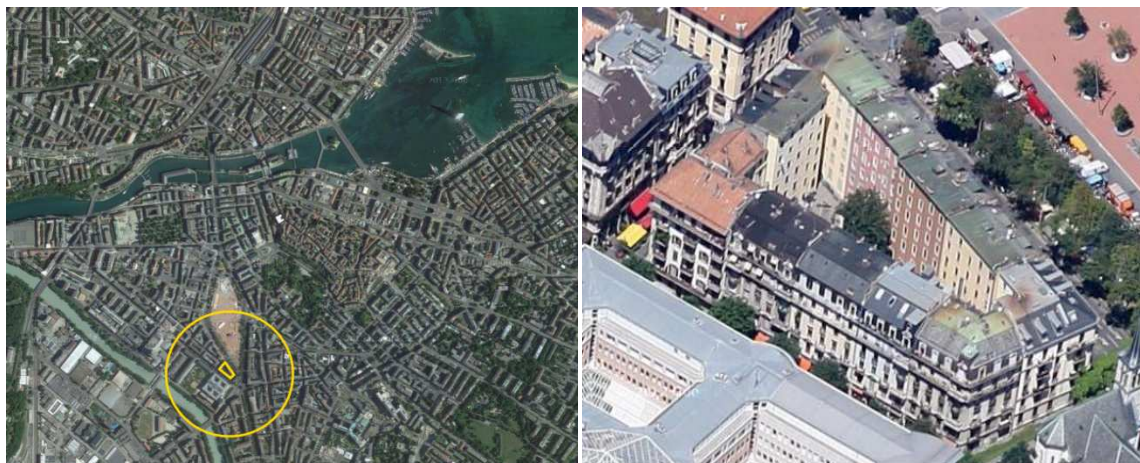


Figure 12: Localisation de l'îlot

#### 3.1 Description de l'îlot – Paramètre pour la modélisation

Voici quelques caractéristiques de l'îlot sélectionné (Tableau 10). Toutes ces informations sont issues de l'outil en ligne SITG, ou calculées à partir de ces données ; elles correspondent à l'année 2010.

Nombre d'immeubles	[-]	12
SRE	[m <sup>2</sup> ]	15'874
Nombre de preneurs	[-]	190
Consommation totale	[kWh]	2'437'627
Répartition Gaz Mazout	[%]	Mazout : 71.5 – Gaz : 28.5
Emission de CO <sub>2</sub>	[t]	599.59
Âge moyen des chaudières	[ans]	26
Surface solaire utile	[m <sup>2</sup> ]	787
Irradiation moyenne	[kWh/m <sup>2</sup> ·an]	1145

Tableau 10: Paramètres de l'îlot de Plainpalais pour la modélisation

La consommation totale est exprimée en termes de kWh de mazout et de gaz consommés. Selon les valeurs indicatives données par la norme SIE 380/1 (SIA380/1, 2009), le rendement moyen des chaudières installées est de l'ordre de **75%** pour les vieilles chaudières. Les besoins réels pour cet îlot sont donc de **1'828'220 [kWh]**.

La surface maximale de toiture disponible pour l'intégration de panneaux solaire (787m<sup>2</sup>) est illustrée à la Figure 13.

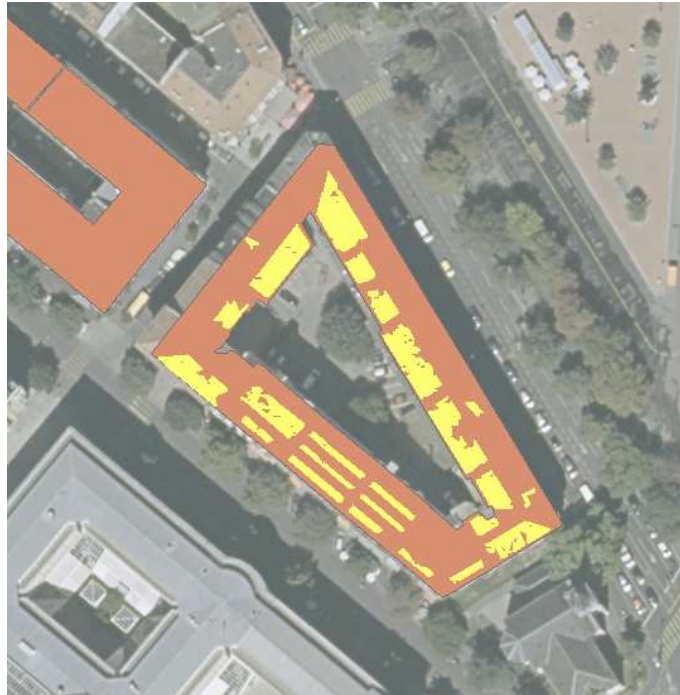


Figure 13: Surface solaire utile pour l'îlot de Plainpalais (787m<sup>2</sup>)

Le périmètre moyen de l'îlot (c'est-à-dire le périmètre qui traverse les immeubles en leurs centres) est de **216m** (voir Figure 14).

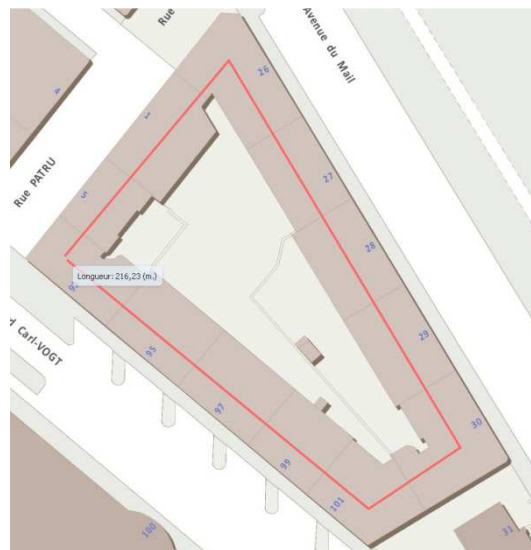


Figure 14: Périmètre moyen de l'îlot

Les données de température de l'année 2010 (heure par heure) proviennent de la station météorologique de MétéoSuisse à Cointrin (Aéroport de Genève).

Certains paramètres n'ont pas été pris en compte, ceci afin de simplifier la modélisation. L'ensemble des îlots est considéré comme un seul et même preneur de chaleur. La distribution est directe, sans passer par un réseau de distribution ni par un échangeur de chaleur. Les pertes dans les conduites ainsi que celles du stockage ne sont non plus pas considérées dans ce modèle.

## 3.2 Besoins pour l'eau chaude sanitaire (ECS)

### 3.2.1 Introduction

Il existe plusieurs approches pour le dimensionnement des installations servant à la production et au stockage de l'ECS. Les paramètres clés sont la puissance ainsi que le volume de stockage pour l'eau chaude. Le ballon doit être dimensionné en fonction de la puissance disponible. Le raisonnement inverse qui consiste à adapter la puissance au volume de stockage à disposition existe également.

Ces différentes méthodes peuvent être regroupées en 3 catégories :

- production instantanée
- production en accumulation
- production semi-instantanée ou en semi-accumulation

Chacune de ces 3 méthodes s'adapte à des modes de consommation différents et présente ses propres avantages et inconvénients.

#### *Production instantanée*

La production instantanée consiste à produire l'ECS au moment où il y a une demande. Elle ne nécessite pas de volume de stockage, réduisant ainsi l'encombrement et les pertes liées au maintien de la température dans le ballon. Cependant, il faut maintenir la chaudière à une certaine température pour avoir un temps de réponse acceptable, péjorant considérablement la consommation d'énergie. De plus, une production instantanée nécessite une grande puissance installée (entraînant des surcoûts). Ainsi, cette méthode est préférée lorsque les besoins sont constants dans le temps (ex : processus industriels) ou lorsque la surface disponible pour le stockage est très limitée. Ce mode de production n'est pas adapté aux logements collectifs.

#### *Production en accumulation*

Cette méthode consiste à prévoir un volume de stockage suffisamment grand pour accueillir la totalité de la consommation journalière. Elle permet d'obtenir des températures de distribution stables et un temps de réponse très court (d'autant plus s'il y a une pompe de circulation). Cependant, ce mode de production engendre un encombrement conséquent et des pertes d'énergie au niveau du ballon de stockage. Cette méthode est justifiée, notamment dans le cas où la production d'eau chaude est assurée par un chauffe-eau électrique, faisant appel à un tarif nocturne bien plus intéressant que le tarif diurne.

#### *Production semi-instantanée ou en semi-accumulation*

Ce mode de production est à mi-chemin entre la production instantanée et une production purement en accumulation. En effet, elle tire avantage de ces deux méthodes. L'encombrement est fortement réduit par rapport au mode en accumulation pur ; la puissance installée est réduite par rapport au mode de production instantanée. De plus, le confort (temps de réponse) est assuré grâce à un volume de stockage. La frontière entre une installation en semi-accumulation ou semi-instantanée est très faible ; elle réside dans la taille du stockage.

En effet, en mode de production semi-instantanée, le volume de stockage est inférieur à la plus forte demande dans la journée. Ainsi, la chaudière de met en route pendant l'appel pour produire le complément d'ECS. En mode de production en semi-accumulation, le volume du ballon correspond précisément à la plus forte demande de pointe (p. ex. l'ECS consommée le matin entre 6h30 et 8h30). La puissance nécessaire est calculée de telle manière à ramener l'eau dans le ballon à température de distribution avant le pic suivant. Pour chaque puissance installée, il existe un volume de stockage minimum.



Ces méthodes sont les plus appropriées pour les bâtiments de logements collectifs.

### 3.2.2 Îlot de Plainpalais

Comme nous venons de la voir, la puissance dépend du volume de stockage à disposition. Elle dépend également des habitudes de consommation des usagés. Étant donné que les bâtiments étudiés sont strictement dédiés au logement, la consommation journalière peut être approximée de la manière suivante : 40% de la consommation entre 6h et 10h, 20% de la consommation à midi et 30% de la consommation durant la soirée et les 10% restant sont réparties dans le restant de la journée (voir Figure 15). Ce mode de consommation, issu de moyennes provenant d'un immeuble locatif à Genève (télé-relevés, données SIG), correspond à une journée type durant la semaine. La consommation d'ECS peut varier fortement durant les week-ends et les périodes de vacances. Par soucis de simplification, ce schéma de consommation sera utilisé pour tous les jours de l'année. L'installation doit être dimensionnée de manière à satisfaire les besoins d'ECS pour la toilette du matin notamment, moment de la journée où la demande est la plus forte.

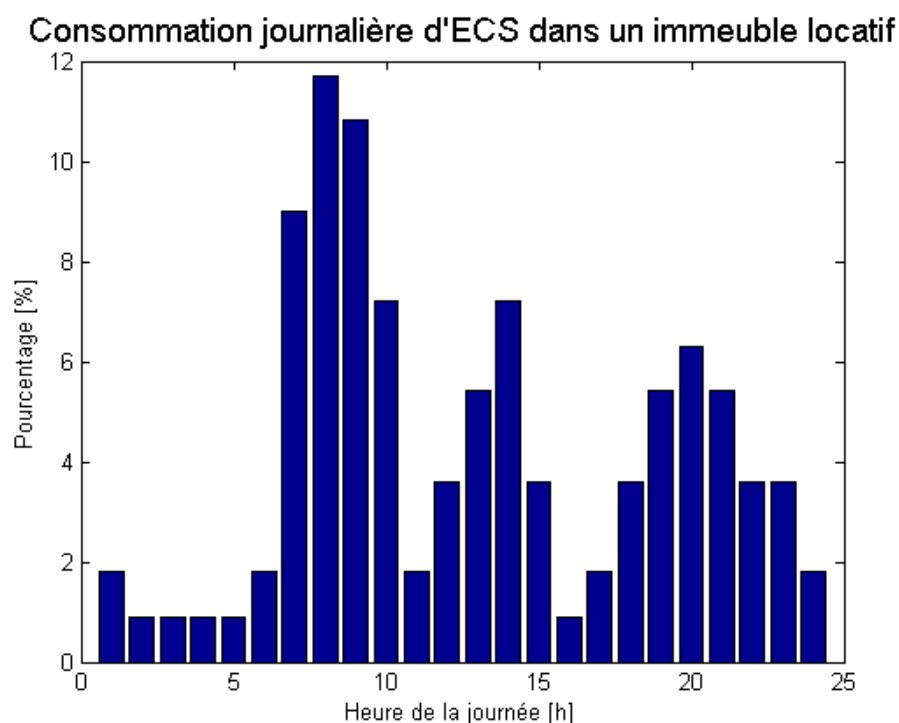


Figure 15: Répartition de la consommation moyenne journalière d'eau dans un immeuble locatif

#### Nombre d'habitants

Afin d'estimer les besoins de chaleur pour la production d'ECS, il convient dans un premier temps d'estimer le nombre de locataires résidant au sein de l'îlot. Pour ce faire, deux méthodes peuvent être utilisées :

1) Dans les immeubles locatifs, le nombre de preneur correspond généralement au nombre d'appartement. D'autre part, selon les statistiques cantonales genevoises (OCSTAT G. , 2005), les appartements en Ville de Genève ont une densité moyenne de 2.12 habitants par appartement. Ainsi, avec un total de 190 preneurs, l'îlot abrite 403 habitants.

2) La surface habitable en Ville de Genève est de 40.09 m<sup>2</sup>/personne(OCSTAT G. , 2005). Connaissant la surface de référence énergétique totale de l'îlot (SRE : 15'874m<sup>2</sup>), il y aurait 396 habitants au sein de l'îlot.

Le nombre d'habitants obtenus avec une méthode ou l'autre donne deux valeurs très proches. Pour la suite des calculs, il est admis qu'il y a **400 habitants dans l'îlot**.

### *Besoins d'énergie*

Connaissant le nombre d'habitants, il est maintenant possible de calculer les besoins annuels en utilisant une formule simple. En moyenne, une personne consomme 50L d'eau chaude sanitaire par jour (OFEN M. &, 2010). La température de l'eau distribuée par le réseau d'eau potable est relativement constante tout au long de l'année ; celle-ci se situe autour de 10°C. Grâce à la formule ci-dessous, il est possible de calculer les besoins d'énergie pour élever la température de l'eau. La température de distribution de l'ECS est de 50°C.

$$Q = V \cdot \Delta T \cdot c_p$$

$Q$  : besoins d'énergie [kWh]

$\Delta T$  : différence de température entre l'eau chaude et l'eau froide [-]

$C_p$  : capacité thermique de l'eau (= 1.1625·10<sup>-3</sup> [kWh/kg·K])

Ainsi, il faut 2.325 kWh par personne et par jour, ce qui représente **339.45 MWh** pour la consommation annuelle de tout l'îlot.

Par ailleurs, à titre de comparaison, la norme SIA 380/1 donne des valeurs indicatives de consommation pour l'ECS en fonction de l'affectation des bâtiments. Pour les immeubles d'habitations collectives, la norme prévoit 75 [MJ/an·m<sup>2</sup>]. Cela correspond à une consommation annuelle de 330.71 MWh à l'échelle de l'îlot. L'estimation ci-dessus est donc validée et conservée pour les calculs à venir.

### *Puissance et volume de stockage*

Les besoins pour l'ECS étant estimés, il est maintenant possible de représenter la Figure 15 autrement ; en cumulant les puisages heure après heure. La Figure 16 représente le cumul des besoins, exprimés en termes d'énergie soutirée au réservoir, pour une journée entière.

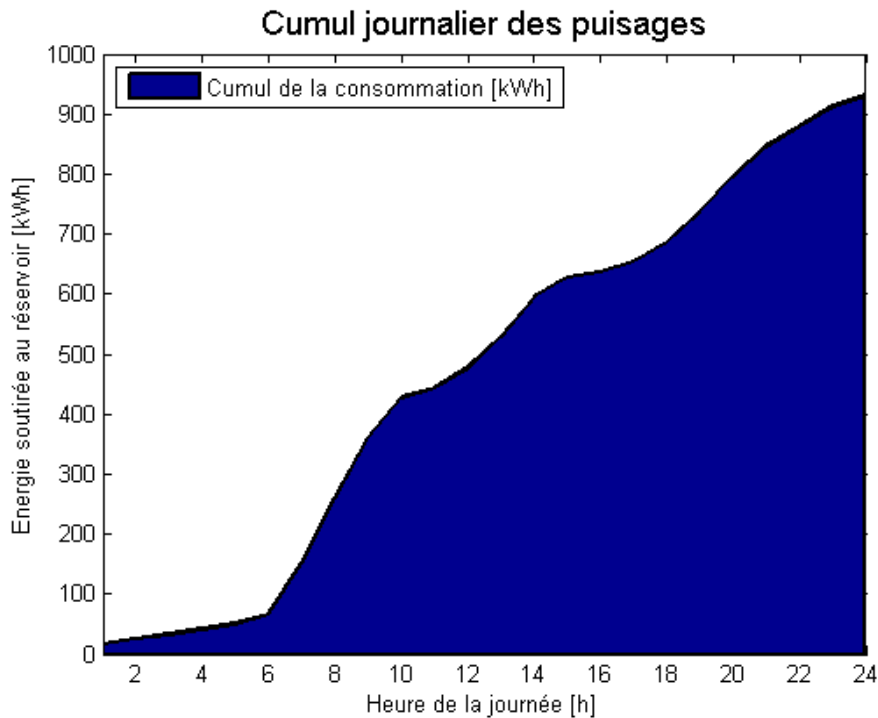


Figure 16: Cumul journalier des puisages d'ECS

Comme il a déjà été mentionné précédemment, il existe une multitude de combinaisons possibles entre la puissance et le volume de stockage, l'un étant directement dépendant de l'autre. La puissance peut être représentée sur le graphique de la Figure 16 comme une droite, dont la pente indique précisément cette puissance. Afin de couvrir la totalité des besoins, cette droite doit atteindre, dans un laps de temps quelconque, la totalité de la consommation journalière, soit 930 kWh.

La droite de puissance représentée sur la Figure 17 est la puissance minimale nécessaire, c'est-à-dire la puissance capable de couvrir la totalité des besoins en 24h. Bien que cela ne reflète pas le mode de dimensionnement usuelle des chauffagistes, ce mode de production est utilisé dans les calculs suivants pour l'exercice de dimensionnement.

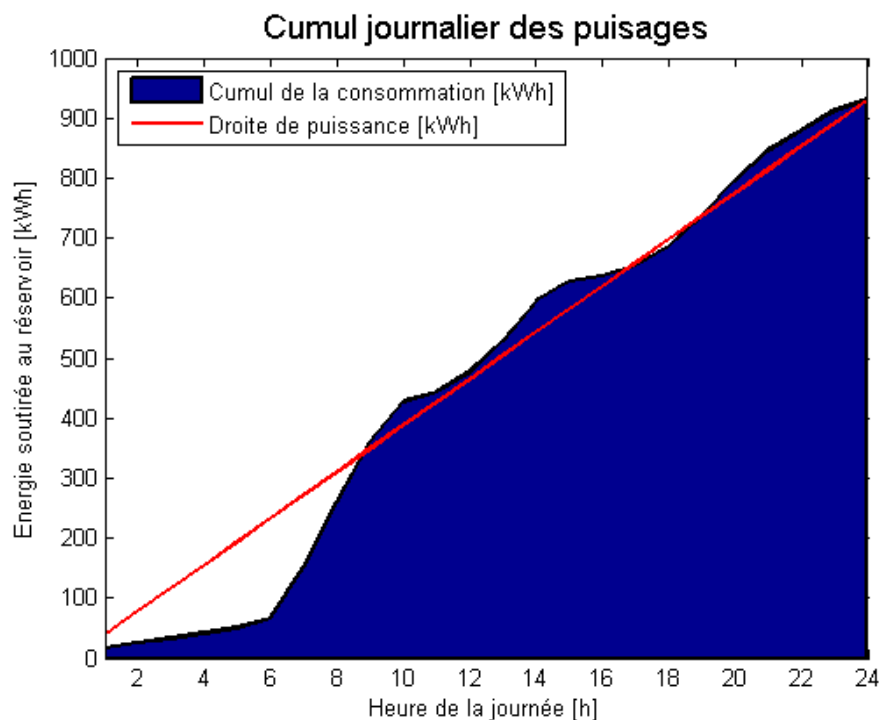


Figure 17: cumul des puisages et droit de puissance minimale

En observant la Figure 17, il est facile de distinguer les périodes durant lesquelles le réservoir emmagasine de l'énergie (par ex : entre 00h et 6h) et celles durant lesquelles le stock est sollicité (par ex : entre 6h et 10h). La Figure 18 représente la variation du stockage d'ECS, exprimée en termes de litres d'eau chaude, partant d'un réservoir vide à 00h. On remarque qu'il y a un « *volume négatif* », le réservoir n'étant pas assez grand pour accumuler toute l'énergie.

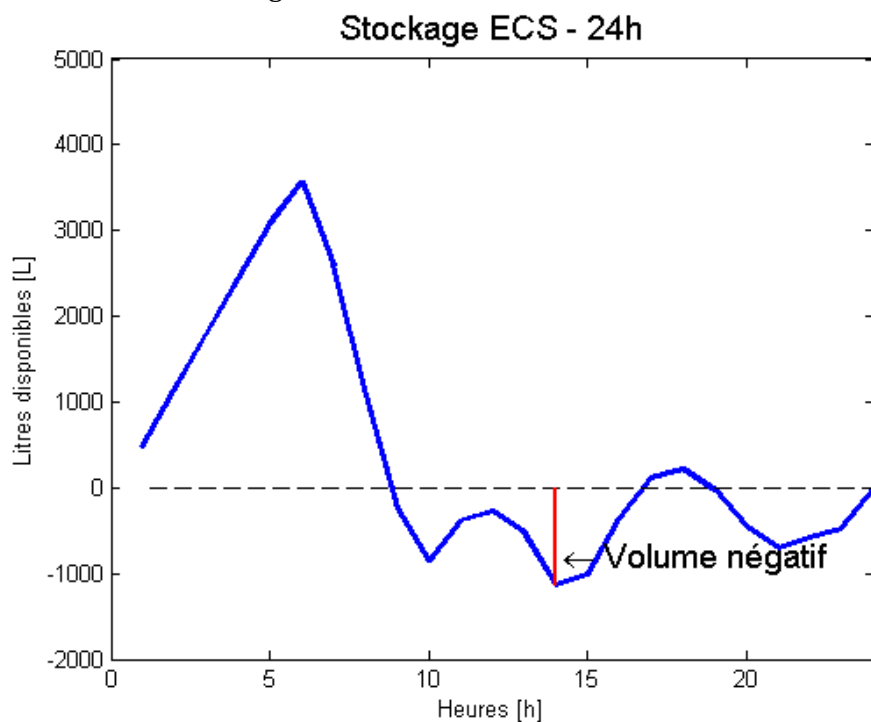


Figure 18: Variation du stock d'ECS - 24h (volume négatif)

La Figure 19 est une version ajustée de la Figure 18, de telle sorte que le réservoir rempli tout juste son devoir de *tampon* d'énergie.

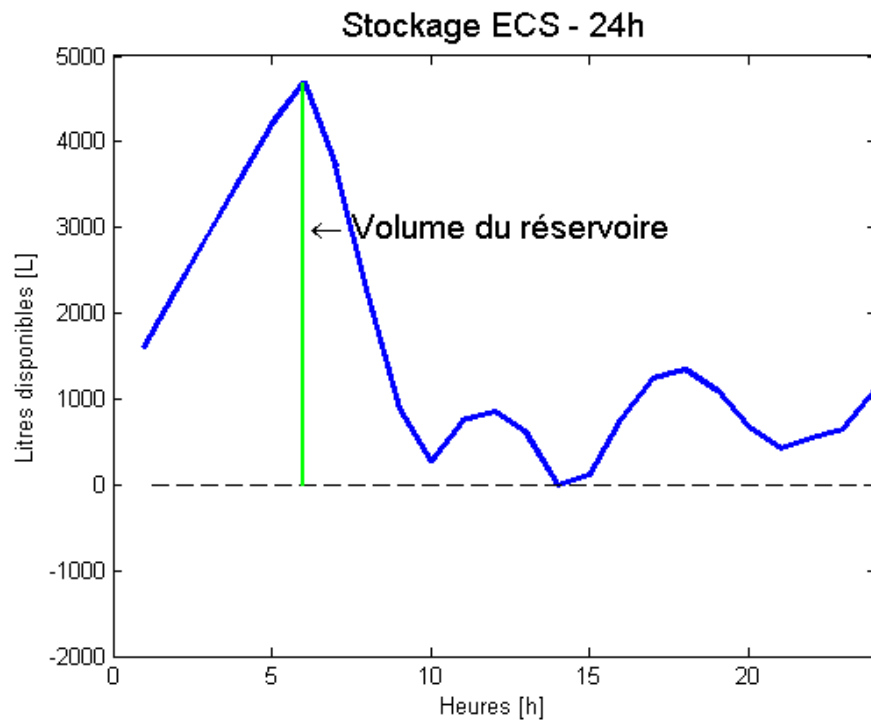


Figure 19: Variation du stock d'ECS - 24h

Ainsi, le volume de stockage est de **4685 L**. Ce volume théorique convient donc pour une production à relativement faible puissance et constante durant toute la journée. Or, dans le cas d'un approvisionnement par panneaux solaires thermiques par exemple, les apports sont plus conséquents pendant la journée (notamment en été) et nuls pendant la nuit. Le volume de stockage doit donc être adapté afin de jouer correctement le rôle de tampon. La question du volume de stockage sera discutée à nouveau à la section 3.5.4 à la page 45.

Cette procédure peut être répétée plusieurs fois afin d'obtenir le volume de stockage minimum et sa puissance correspondante (voir Figure 20). Les trait-tillés rouges représentent le cas de figure calculé ci-dessus (puissance : 39kW, volume : 4685L).



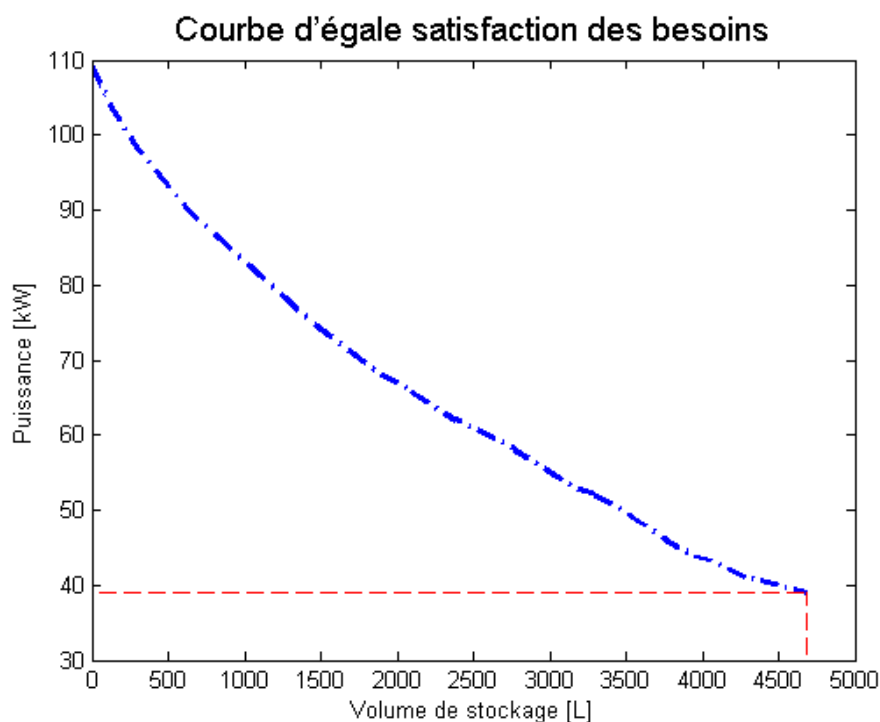


Figure 20: Courbe d'égale satisfaction des besoins en ECS

A partir d'une puissance de 109 kW ou plus, le système ne nécessite pas de volume de stockage étant donné que le puisage maximum est de 109 kWh (entre 7h et 8h) dans un laps de temps d'une heure. Il s'agit alors d'un mode de production instantanée.

### Remarques et commentaires

Ici, les calculs ont été effectués sur une échelle de temps d'une heure et sur un mode de consommation moyen de l'eau chaude sanitaire. Pour être plus précis et plus réaliste, le dimensionnement devrait être effectué sur le *pire* scénario de consommation ; c'est-à-dire en se basant sur la journée où le puisage était le plus fort (par ex : un dimanche soir d'hiver où plusieurs personnes auraient l'idée de prendre un bain au même moment...) et non sur des moyennes. Malheureusement, des données plus précises n'étaient pas disponibles. Dans un souci de précision, il conviendrait également de réduire l'échelle de temps et d'analyser les demandes d'ECS sur des intervalles plus petits (p. ex : 10min).

Le coefficient d'efficacité du ballon de stockage est un paramètre qui reflète la capacité d'un ballon à se maintenir stratifié. En effet, lorsque l'eau chaude est puisée dans la partie supérieure du ballon, le bas de ce dernier est rempli par de l'eau froide ; provoquant ainsi un mélange d'eau sur une certaine hauteur du ballon. Les ballons de stockage cylindriques en position vertical présentent des meilleurs coefficients d'efficacité que les ballons disposés horizontalement. Pour des raisons de simplifications, le réservoir a donc été considéré comme étant parfaitement stratifié lors de la modélisation (coefficient d'efficacité =1).

Il est à noter que les pertes thermiques n'ont pas été prises en compte dans ces calculs. Elles sont d'autant plus importantes si l'eau chaude est en constante circulation dans les tuyaux (permettant ainsi aux usagers de disposer d'eau chaude rapidement dès l'ouverture du robinet). Le chauffagiste devrait procéder avec attention aux réglages des paramètres de recirculation. En effet, au-delà des pertes thermiques, les pompes de circulations consomment beaucoup d'électricité.

Les résultats calculés ci-dessus sont bien évidemment des volumes et des puissances minimales *théoriques*. Dans la pratique, ces deux paramètres sont majorés d'un facteur de sécurité afin de garantir suffisamment d'eau chaude à tout moment, même lorsque les pertes et le coefficient d'efficacité du ballon ont été pris en compte.

### 3.3 Besoins pour le chauffage

Le besoin réel d'énergie pour le chauffage est égal à la consommation totale moins la part d'énergie dédiée à la production d'eau chaude sanitaire ; il représente donc **1.489 GWh**. Ainsi, l'ECS consomme environ 18.5% de la consommation totale de l'îlot ; ce qui semble être une valeur tout à fait plausible pour ce genre de bâtiment à forte consommation.

#### 3.3.1 Signature énergétique

La signature énergétique est un model linéaire qui donne la puissance au mètre carré nécessaire au maintien d'une certaine température intérieure en fonction de la température extérieure. Dans sa publication (Girardin L. e., 2009), Girardin propose une méthode pour définir la signature énergétique d'un bâtiment quand celle-ci n'est pas connue ou pas mesurable. Cette méthode permet de *répartir* la consommation en fonction de la température extérieure. Elle permet ainsi de trouver la puissance maximale nécessaire lorsque que la température extérieure atteint la température de dimensionnement.

La température de dimensionnement est une température légale jusqu'à laquelle les installations doivent garantir une certaine température intérieure. Au-delà de cette température, le chauffagiste ou l'ingénieur responsable du dimensionnement des installations ne sont plus tenu responsables si le propriétaire ou les locataires se plaignent du froid. Bien évidemment, cette température est choisie de telle manière à ce que la sensation d'inconfort thermique n'est quasiment jamais ressentie. A Genève, la température de dimensionnement est fixée à **-6°C**.

La méthode décrite par Girardin fait appel à des paramètres semblables aux degrés-jour. En effet, il propose de diviser la consommation totale par la somme des écarts de température entre la température ambiante souhaitée et la température extérieure; pour autant que cette dernière soit égale ou supérieure à la température de non-chauffage. Les résultats obtenus sont les paramètres  $k_1$  et  $k_2$  qui sont respectivement, la pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de la signature énergétique.

La température seuil de non-chauffage, c'est-à-dire la température extérieure à partir de laquelle les logements ne sont plus chauffés est fixée à 15.5°C. La température de confort cible est de 20°C, selon les directives de la norme SIA 380/1 (SIA380/1, 2009).

Pour rappel, les données de consommation ainsi que les données de température correspondent à l'année 2010 (données MétéoSuisse, station de mesure de Cointrin). Afin de refléter au mieux la réalité, les *degrés-heure* compris entre le 21 mai 2010 et le 09 octobre 2010 ont été manuellement fixés à zéro. En effet, le système de chauffage est coupé durant cette période de l'année, même si la température extérieure passe momentanément en dessous de 15.5°C. Les dates ont été choisies à la suite d'observations du fonctionnement du système de chauffage de plusieurs immeubles locatifs à Genève (télé-relevés 2010, données SIG).

La Figure 21 représente la signature énergétique, uniquement pour le chauffage et pour l'îlot tout entier. La Figure 22 montre la puissance totale nécessaire pour l'îlot (ECS sanitaire incluse).

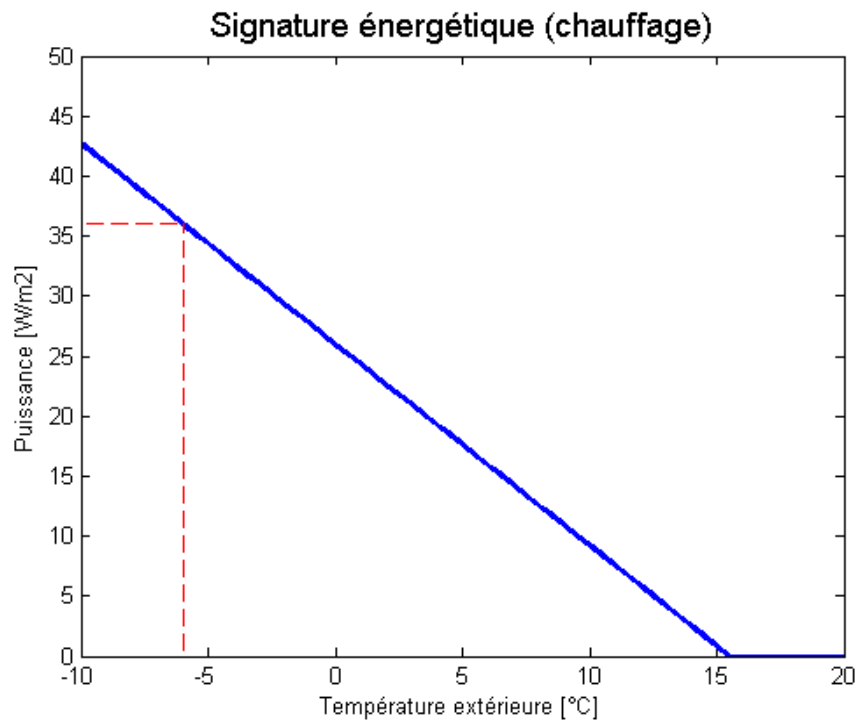


Figure 21: Signature énergétique (chauffage)

Les trait-tillés rouge représentent la puissance nécessaire à la température de dimensionnement (-6°C). Pour la surface totale de l'îlot, cela représente une puissance utile de 572 kW pour le chauffage. En prenant en compte également de la puissance pour l'ECS, cela représente 611 kW.

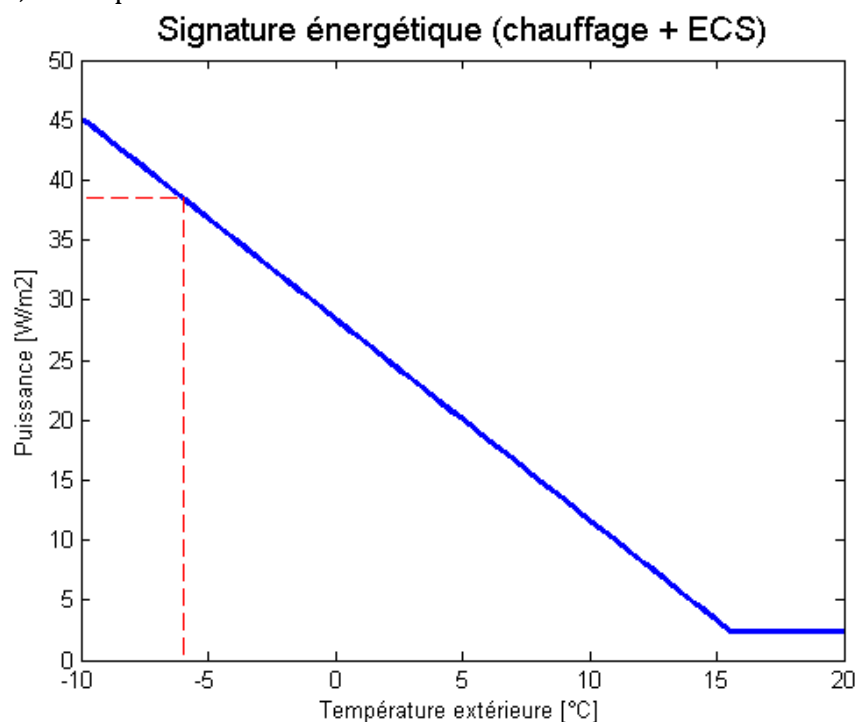


Figure 22: Signature énergétique (chauffage + ECS)

A partir de la signature énergétique du bâtiment, il est possible de répartir la totalité de la consommation en fonction de la température extérieure. La Figure 23 donne cette répartition, en faisant la distinction entre l'énergie pour le chauffage et celle pour la production d'ECS.

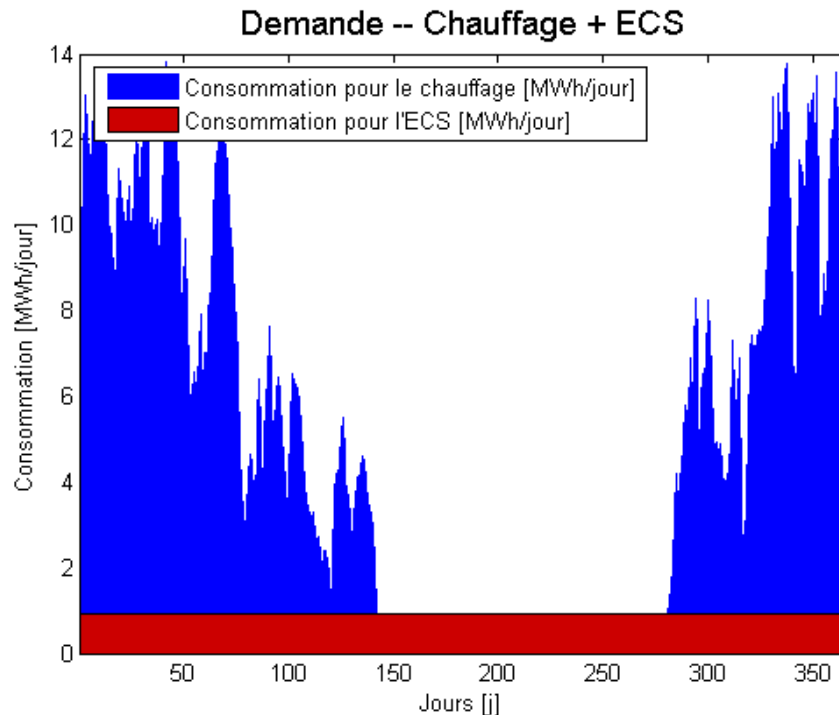


Figure 23: Consommation pour le chauffage et l'ECS

### 3.4 Températures de distribution

#### 3.4.1 Introduction

Les températures de distribution et de retour sont des paramètres clés dans les systèmes de chauffage. Aujourd'hui, l'amélioration des techniques dans le domaine du bâti ainsi que le renforcement des lois et des normes de construction rendent les bâtiments moins gourmands en énergie. Par exemple, la norme SIA 384/1 (SIA, 2009) préconise une température départ limite de 50°C pour les bâtiments avec radiateurs lorsque la température extérieure atteint la température de dimensionnement (-6°C pour Genève). Le règlement d'application de la loi sur l'énergie REn (législation genevoise) reprend les valeurs données par la norme SIA pour toute nouvelle construction ou rénovation du système de chauffage (Art. 12I1<sup>(19)</sup>).

Historiquement, les circuits hydrauliques, dans les anciens bâtiments, étaient prévus pour des températures *aller* à 90°C et des températures *retour* à 70°C (90/70). Ceci posait différents problèmes d'inconfort, au delà des soucis liés à la consommation. En effet, au contact de la surface du radiateur, la poussière brûlait et générait des traces noires au dessus des radiateurs. Des températures aussi élevées généraient également beaucoup d'accidents, notamment des brûlures de la peau. Les températures ont alors été graduellement revues à la baisse et ajustées, sans baisser pour autant le confort thermique dans les logements.



Aujourd'hui, les températures de distribution dans les nouvelles constructions sont bien inférieures par rapport à celles rencontrées dans les bâtisses plus anciennes. Etant donné que ce paramètre est déterminant pour assurer une bonne efficacité, l'intégration des nouvelles technologies de production de chaleur y est plus aisée.

### 3.4.2 Températures de distribution à Genève

Une récente étude menée par l'Université de Genève (Quiquerez & Cabrera, 2013) a analysé les températures de quelques 70 bâtiments et 140 boucles de distribution à Genève. L'étude porte sur des bâtiments de diverses époques et ayant différentes affectations. Voici quelques résultats intéressants concernant les bâtiments chauffés par un système de radiateurs.

#### Température aller

Pour une température extérieure de :	
-10°C	-5°C
→ Près de la moitié des bâtiments ont une température de départ compris entre 60 et 65°C	→ 43% des bâtiments ont une température de départ compris entre 55 et 60°C
→ 8% entre 70 et 73°C	
→ La médiane des températures maximales est de 73°C	

Tableau 11: Commentaires sur les températures *aller*

#### Température retour

Pour une température extérieure de :	
-10°C	-5°C
	→ 39% des bâtiments ont des températures de retour comprises entre 45 et 50°C

Tableau 12: Commentaires sur les températures *retour*

#### Différence aller/retour

Pour une température extérieure de :	
-10°C	-5°C
→ 66% des $\Delta T$ sont inférieurs à 12°C	→ 80% des boucles de chauffage ont des $\Delta T$ inférieurs à 12°C
	→ 22% des boucles de chauffage ont des $\Delta T$ inférieurs à 6°C

Tableau 13: Commentaires sur différence des températures *aller* et *retour*

#### Température de distribution : époque de construction et IDC

L'étude a classé les températures de distribution en fonction de certains paramètres, notamment l'époque de construction de l'immeuble et l'IDC. Il en ressort que les bâtiments construits avant 1980 et n'ayant pas fait l'objet de rénovations ont des températures de distribution comprises entre 55 et 70°C pour une température extérieure de -5°C. Les bâtiments avec des IDC compris entre 400 et 650 [MJ/m²\*an] ont des températures de distribution entre 55°C et 70°C pour une température extérieure de -5°C. Pour une température extérieure de 5°C, ces mêmes bâtiments

envoient l'eau à des températures comprises entre 45 à 55°C. Cependant, il conviendrait d'étendre l'étude à un plus grand nombre de bâtiments appartenant à ces catégories avant de prendre ces températures pour acquis. En effet, ces constats ont été réalisés sur un échantillon restreint de bâtiments.

### Commentaires

Comparés aux températures, pour lesquelles les anciens systèmes hydrauliques ont été dimensionnés, les niveaux de températures durant les périodes de froid sont plutôt bas. Seul un bâtiment dépassait les 70°C pour une température extérieure de -10°C. Ces informations semblent indiquer que la plupart des bâtiments sont donc, à priori, compatibles avec des réseaux de chaleur à « *relativement basses températures* » ; ce qui est plutôt réjouissant. Les bâtiments anciens ont vraisemblablement adopté un régime de températures plus bas que celui pour lequel ils avaient été dimensionnés. Ainsi, un grand nombre d'immeubles locatifs fonctionnent avec un régime de 70/60.

Deuxième constat, les différences entre les températures *aller* et *retour* sont trop faibles par rapport au dimensionnement des corps de chauffe (radiateurs). Ceci s'explique par des débits de circulation trop élevés, souvent dues à des pompes de circulation surdimensionnées ou mal réglées. Les  $\Delta T$  attendus pour la température extérieure de dimensionnement (-6°C) est de 20°C pour les corps de chauffe anciens. Avec un bon ajustement des vannes thermostatiques et une pompe de circulation réglée sur une vitesse appropriée, ces bâtiments pourraient fonctionner avec une température de retour inférieure, soit **70/50**.

Les problèmes de surdimensionnement ne sont pas des problèmes récents. A en croire une ancienne étude parue il y a presque 20 ans (Keller & Manfred, 1993), la consommation électrique des pompes de circulation serait en moyenne 15 fois supérieure à ce qu'elle devrait être. En effet, selon leurs résultats, la vitesse de circulation dans les tuyaux est en moyenne 2.5 fois trop rapide par rapport aux besoins thermiques des bâtiments (la consommation d'énergie varie en fonction du cube de la vitesse dans les conduites).

L'OFEN et Minergie recommandent tous deux une puissance pour la pompe de circulation représentant environ 1‰ de la puissance thermique pour le chauffage.

#### 3.4.3 Îlot de Plainpalais

Il existe plusieurs méthodes pour ajuster la puissance fournies par les radiateurs d'un immeuble. Très souvent, ce sont les débits et les températures de l'eau dans les conduites qui fluctuent en fonction des conditions extérieures. Cependant, il arrive parfois que le débit soit constant et que la température de distribution soit alors le seul paramètre qui varie au cours du temps. Dans de très rares situations, il peut arriver que la température soit constante et que le débit soit le paramètre qui varie.

Dans sa publication (Girardin L. e., 2009), L. Girardin propose une méthode pour calculer les températures de départ et de retour en fonction des températures extérieures ; avec un débit de distribution constant.

Afin d'étalonner la droite des températures, cette méthode implique la connaissance (ou l'estimation) des températures *aller* et *retour* associées à une température extérieure, ou bien associées à une certaine puissance (en utilisant la signature énergétique). La Figure 24 montre le diagramme des températures de distribution pour l'îlot de Plainpalais. Les températures d'étalonnages (70/50) proviennent des constats et des

conclusions faits par de l'étude de l'Université de Genève (Quiquerez & Cabrera, 2013) pour la température de dimensionnement (-6°C).

Pour assurer une puissance suffisante, le débit dans le réseau doit être de 24.6 m<sup>3</sup>/h, soit **6.83 l/s**. Au-delà d'une certaine vitesse dans les tuyaux, les frottements engendrent des pertes de charges importantes qui doivent être compensées par la pompe de circulation. De plus, des vitesses trop élevées peuvent induire des sifflements dans les conduites. Il est donc recommandé d'avoir une vitesse comprise entre 1 m/s et 1.3 m/s (Recknagel, 2011). De telles vitesses supposent donc des conduites d'un diamètre intérieur de 93.25 [mm] et 81.80 [mm] respectivement. Une conduite **DN 90** semble donc appropriée.

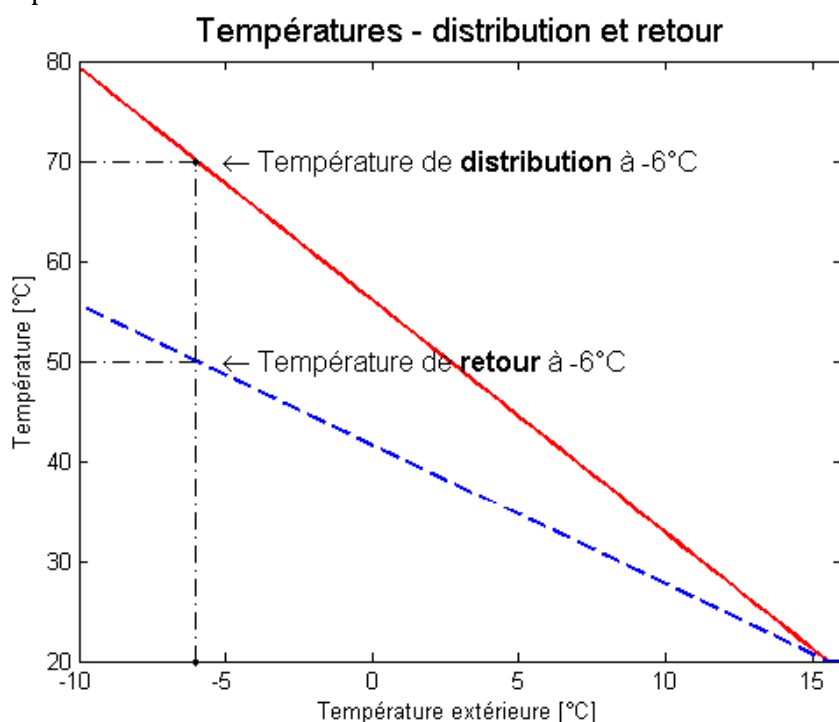


Figure 24: Températures - distribution et retour

### 3.5 Energie Solaire

Bien qu'ils ne soient jamais comptabilisés lors du dimensionnement, les apports solaires naturels fournissent une part non négligeable de chaleur pour le chauffage, notamment durant l'entre-saison. Ces apports peuvent cependant être valorisés davantage grâce à l'intégration de capteurs solaires thermiques, notamment sur les toitures orientées au sud.

#### 3.5.1 Description panneau solaire

Les panneaux solaires thermiques sont des installations qui permettent de collecter une partie de l'énergie provenant du rayonnement solaire. L'énergie transmise à un fluide caloporteur, circule en circuit fermé jusqu'à un accumulateur de chaleur. En se refroidissant, le fluide cède alors son énergie à l'eau dans le stock, et repart ensuite en direction du panneau solaire. Il existe plusieurs types de technologies de panneaux solaires thermiques avec différents niveaux de complexité et de rendement.

##### Capteurs plan non vitrés

Les capteurs non vitrés sont des structures relativement simples. Ils se présentent soit sous forme de tubes soit sous forme de plaques en inox légèrement ondulées dans

lesquels le liquide caloporteur circule. Etant donné que ces panneaux ne sont pas isolés, ils génèrent beaucoup de pertes lorsque la température du fluide s'élève. Cependant, à basse température, ils présentent de bons rendements, car ils permettent d'élever facilement la température du fluide caloporteur à température ambiante. Ce type de capteur convient particulièrement lorsque l'eau, à l'entrée du capteur solaire, est très froide ; permettant ainsi de récupérer, notamment, la chaleur de condensation. De par leur simplicité, ce sont les panneaux solaires les moins chers.

### **Capteurs plan vitrés**

Un capteur plan vitré se présente sous la forme d'un caisson peu profond à l'intérieur duquel circule un tube en forme de serpentin (souvent en cuivre) ; le fluide caloporteur circule à l'intérieur de ce tube. Les parois du caisson sont généralement isolées pour réduire les pertes par conduction. Le tube, ainsi que les faces internes du caisson, sont revêtus d'un matériau absorbeur afin de capter un maximum d'énergie. La face supérieure du panneau solaire est couverte d'une vitre transparente à la lumière, mais opaque aux rayons infrarouges ; réduisant ainsi les pertes par rayonnement et par convection. Il s'agit du type de panneaux solaires les plus répandus dans les ménages.

### **Capteurs sous vide**

Ces panneaux sont constitués de tubes sous vide disposés parallèlement, fixés et connectés à un échangeur à leur extrémité supérieure. Contrairement aux autres types de panneaux solaires, les capteurs sous vide tirent profit du changement de phase du liquide à l'intérieur du tube. En effet, la pression à l'intérieur des tubes est faible à température ambiante ; le liquide peut donc entrer en ébullition à relativement basse température. La vapeur, moins dense, se déplace alors à l'extrémité supérieure du tube où se trouve l'échangeur de chaleur. Au contact de l'échangeur (qui a une température plus froide), la vapeur condense sur le tube, cédant ainsi sa chaleur latente. Le condensat coule alors au bas du tube. Les capteurs sous vides sont les collecteurs thermiques les plus performants ; ils sont également les plus coûteux.

### **Fluide caloporteur**

Le fluide caloporteur est généralement constitué d'un mélange d'eau et de glycol (antigel). Ses propriétés physiques varient notamment en fonction de la température, pouvant avoir un effet sur les rendements de l'installation. Les variations de la masse volumique et de la chaleur spécifique doivent être prises en considération par les fabricants et les organismes de certification pour calculer avec précision les quantités de chaleur transportées. Dans le cadre de ce projet, les variations des propriétés du fluide caloporteur sont négligées.

### **Productivité solaire**

La productivité est le rendement annuel des capteurs solaires. Il s'agit de la portion de l'énergie utile par rapport au rayonnement total au cours d'une année. Elle est bien évidemment liée au type de capteurs et à leur orientation, mais également au dimensionnement des installations. En effet, le rapport entre l'énergie utile et l'énergie incidente est péjoré si la surface des capteurs est surdimensionnée ; le surplus d'énergie produit ne pouvant être valorisé. C'est d'autant plus le cas en été, lorsque le rayonnement est fort et que les besoins sont faibles. Le surdimensionnement des installations peut également conduire à une surchauffe des capteurs ; produisant ainsi une diminution de la productivité.

### **Surchauffe dans les capteurs - surplus saisonnier**

Lorsque la production solaire dépasse le besoin des utilisateurs, la température interne des capteurs peut monter à des températures très hautes. Ce phénomène survient



principalement en été, durant les journées chaudes, notamment lorsque les utilisateurs sont en vacances. Le fluide caloporteur peut alors changer d'état et se vaporiser localement dans les capteurs, réduisant ainsi les performances globales de l'installation. Les collecteurs sont généralement équipés de soupapes empêchant d'atteindre des niveaux de pression trop élevés, évitant ainsi d'endommager les capteurs. Des épisodes de surchauffe à répétition peuvent amener à une modification des propriétés physiques du fluide caloporteur. Il convient donc de dimensionner les installations de telle manière à éviter ce phénomène.

La surproduction survient lorsque que la surface installée (p. ex : toute la toiture d'une villa) est trop grande par rapport aux besoins. Dans le cas des îlots, le rapport entre la toiture et la surface habitable est beaucoup plus petit étant donné que les immeubles abritent une densité de population bien plus forte. Par ailleurs, l'espace dans la cour intérieure permet d'entreposer un accumulateur afin de stocker les surplus estivaux.

### 3.5.2 Données météorologiques

Le Groupe Energie de l'université de Genève met à disposition sur son site internet les données météorologiques enregistrées heure par heure par quatre stations de mesure. Parmi les informations disponibles, on y trouve les valeurs d'irradiations sur différentes surfaces avec différentes inclinaisons.

Les irradiations choisies pour la simulation correspondent à celles mesurées par la station de Prairie, située au centre ville (sur le toit de l'Hépia). Il s'agit de moyennes réalisées entre une surface orientée SE et une autre orientée SW, toutes deux avec une inclinaison à 35°. Ce sont les surfaces qui correspondent le mieux aux conditions des toitures de l'îlot. Enfin, les irradiations utilisées dans le modèle sont issues d'une moyenne sur 3 ans (2011 à 2013), ceci afin d'avoir des données plus représentatives de l'irradiation moyenne à Genève.

Ces données horaires ont ensuite été corrigées par un petit facteur multiplicatif afin que la somme des irradiations coïncide avec la valeur moyenne proposée par l'outil SITG. En effet, l'irradiation SITG prend en compte les spécificités des toitures de l'îlot (orientation, inclinaison, zones d'ombres...), ce qui rend la donnée plus précise.

### 3.5.3 Rendement des panneaux solaires thermiques

Le rendement instantané des panneaux solaires, c'est-à-dire le rapport entre le rayonnement solaire et la puissance thermique transmise au fluide caloporteur, est une variable qui dépend de plusieurs paramètres physiques. Les principaux sont les suivants :

- le type de panneaux solaires (capteurs vitrés, non-vitrés, sous vide, etc.),
- l'angle d'incidence et la puissance des rayons solaires sur le capteur,
- la différence de température entre l'air ambiant et la température moyenne du capteur.

Ainsi, le rendement varie au cours de l'année ; son calcul exact suppose donc la connaissance précise des paramètres au cours du temps.

Ci-dessous, la formule générale du rendement des panneaux solaires thermiques selon la méthode européenne :

$$\eta = \eta_0 - \frac{a_1 \Delta T}{E_0} - \frac{a_2 \Delta T^2}{E_0}$$

- $\eta$  : rendement global [-]  
 $\eta_0$  : rendement optique [-]  
 $\Delta T$  : différence de température entre le fluide dans le capteur et l'air ambiant ( $T_{\text{capteur}} - T_{\text{ext}}$ ) [-]  
 $a_1$  : coefficient de pertes par conduction et convection [W/K·m²]  
 $a_2$  : coefficient de pertes par rayonnement infrarouge [W/K²·m²]  
 $E_0$  : 1000 [W/m²]

Il est intéressant de constater que le rendement des panneaux est directement lié à la température à l'intérieur du capteur. Plus cette température est élevée, plus les pertes thermiques sont élevées, péjorant ainsi le rendement global de l'installation. Pour un meilleur rendement, il est donc préférable de travailler avec des températures aussi basses que possibles à l'entrée du collecteur solaire.

Les paramètres  $\eta_0$ ,  $a_1$  et  $a_2$  sont fournis par les fabricants des panneaux. Ils proviennent généralement des centres qui testent les matériaux et les composants des produits. En Suisse, c'est l'*Institut pour la technologie solaire* (Institut für Solartechnik, SPF) qui mesure et valide ces valeurs.

Parmi ces paramètres, un pose quelques difficultés: la température moyenne du fluide dans le capteur. La solution la plus simple consiste à effectuer une simple moyenne de température entre l'entrée et la sortie du capteur; encore faut-il connaître cette dernière donnée. La température de sortie dépend en effet de plusieurs paramètres tels que le débit et la nature du fluide caloporteur, la taille du collecteur, la température extérieure... et le rendement, or, c'est précisément le paramètre recherché.

Il est très probable que les fournisseurs possèdent des abaques ou des tableaux à plusieurs entrées leur permettant de prédire ces températures sous certaines conditions. Malheureusement, une telle information n'a pas pu être trouvée. Le rendement réel des installations est très souvent mesuré à posteriori, afin de valider la valeur prédite. Le calcul se base sur une régression (production vs. ensoleillement plan capteurs).

Afin de pouvoir aller de l'avant, il a fallu trouver une solution alternative; cette solution est venu de la version d'essai du programme de modélisation ESOP (logiciel développé par le groupe allemand *Viessmann*, entreprise allemande spécialisée dans les installations de chauffage). En effet, après une rapide modélisation des besoins, le programme fournit une multitude de paramètres et de résultats, dont la température moyenne dans les capteurs (valeurs moyennes mensuelles). La Figure 25 montre les résultats issus de la modélisation. Ces températures sont utilisées pour la suite des calculs.

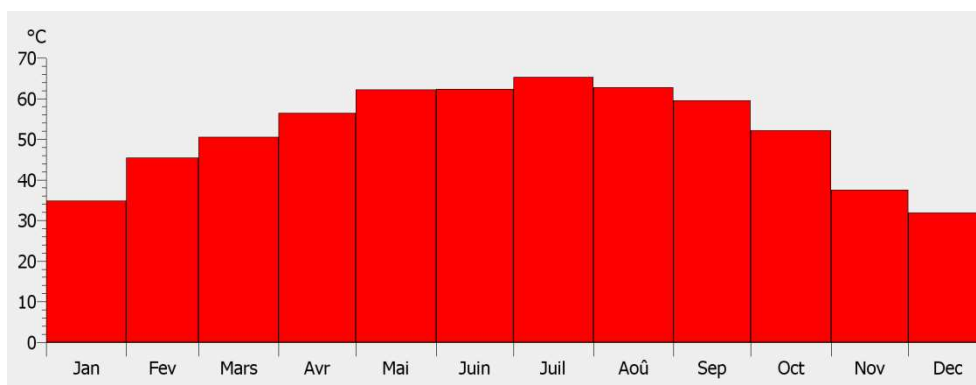


Figure 25: température moyenne dans les capteurs solaires - (ESOP version 4.0 R4)

### 3.5.4 Îlot de Plainpalais

Grâce au rendement solaire, il est maintenant possible de calculer précisément l'énergie que les capteurs sont capables de valoriser. Comme il a déjà été mentionné, il existe principalement 3 catégories de collecteurs solaires thermiques (capteurs non vitrés, capteurs plan vitrés et capteurs à tube sous vide). La Figure 26 montre la différence d'efficacité entre un capteur plan non vitré (Capteurs AS – commercialisés par l'entreprise valaisanne Energie Solaire) et des capteurs tubes sous vide (capteurs T6-DF, commercialisés par la société *Soltop*), pour la même énergie reçue. Ces deux graphiques supposent l'installation de panneaux solaires sur la totalité de la surface disponible sur la toiture de l'îlot étudié (787m<sup>2</sup>). Par souci de visibilité, le graphique montre les résultats sous forme de valeurs hebdomadaires afin de lisser les courbes. Le Tableau 14 montre les paramètres propres aux deux types de panneaux solaires utilisés pour la modélisation.

	Capteurs AS – Energie Solaire	Capteurs T6-DF – Soltop
$\eta_0$ [-]	0.95	0.753
$a_1$ [W/K·m <sup>2</sup> ]	9.81	1.42
$a_2$ [W/K <sup>2</sup> ·m <sup>2</sup> ]	0.0470	0.0071

Tableau 14: Rendements optiques et coefficients de pertes thermiques

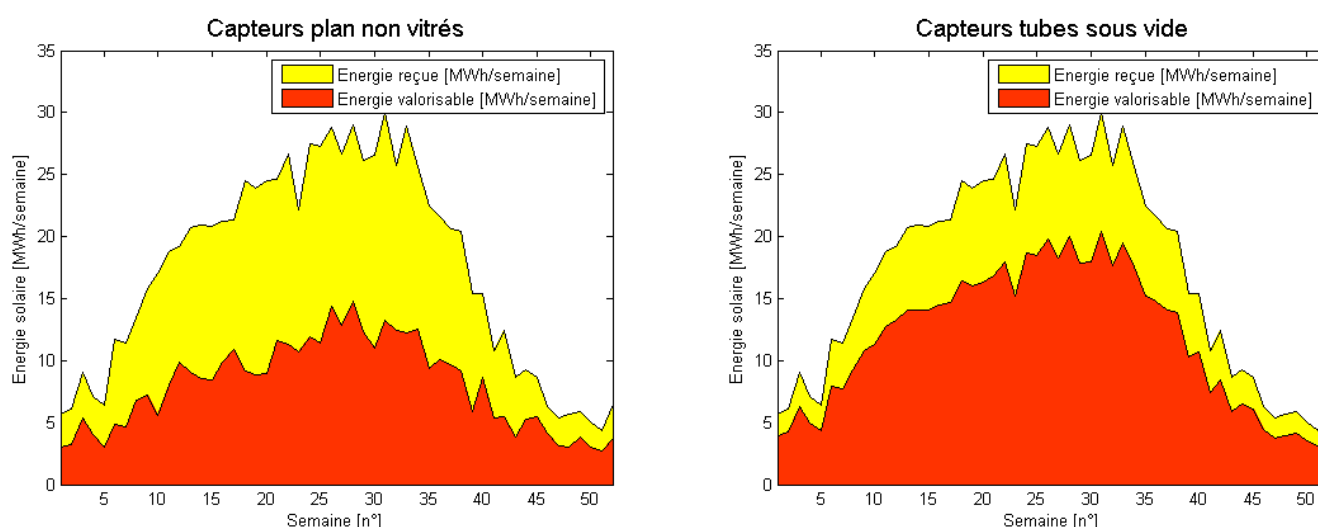


Figure 26: Energie valorisable – A gauche : capteurs plan non vitrés, A droite : capteurs tubes sous vide

Les rendements annuels calculés, c'est-à-dire la quantité d'énergie que les panneaux solaires sont capables d'extraire par rapport à l'énergie qu'ils reçoivent, sont de **46%** et de **68%** respectivement.

Que ce soit à l'échelle annuelle ou à l'échelle d'une journée, la production solaire et la consommation ne sont malheureusement pas synchronisées. En hiver, les besoins de chaleur sont énormes, alors que la production solaire est très faible. A l'échelle d'une journée, les apports solaires sont très importants entre 11h 14h, alors que les deux principaux pics de consommation ont lieu tôt le matin et en soirée.

Cependant, il est possible de stocker cette énergie afin de l'utiliser ultérieurement. L'ECS peut être stockée dans des ballons d'eau chaude à l'échelle de la journée. Pour le chauffage, c'est le bâtiment lui-même (structure, mobilier, enveloppe, ...) qui sert de stockage. En fonction de la qualité de l'isolation, ce tampon peut jouer un rôle à l'échelle de quelques heures, voire quelques jours pour les bâtiments mieux isolés.

Il existe plusieurs scénarios en fonctions de l'objectif que l'on souhaite atteindre. Les calculs suivants ont été réalisés heure par heure.

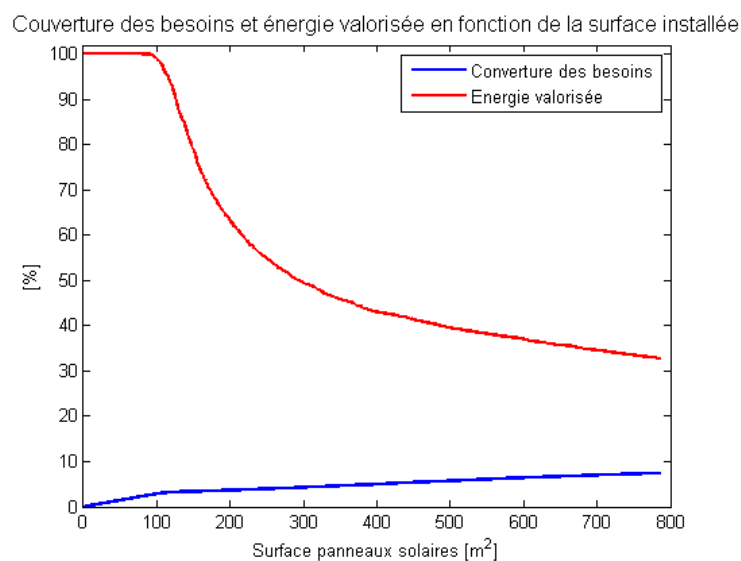
#### **Aucun stockage – consommation directe**

Le premier scénario consiste à utiliser l'énergie uniquement lorsque celle-ci est disponible, sans prévoir de système de stockage particulier. L'énergie provenant des capteurs à un temps  $t$  n'est utilisée qu'à hauteur des besoins durant ce même temps  $t$ . En d'autres termes, aucune surproduction n'est valorisée. En recouvrant la totalité de la surface utile à disposition, les apports solaires couvrent, dans ce cas, les besoins annuels (chauffage + ECS) à hauteur de **7.4%** (non vitrés) et **8.6%** (tubes sous vide).

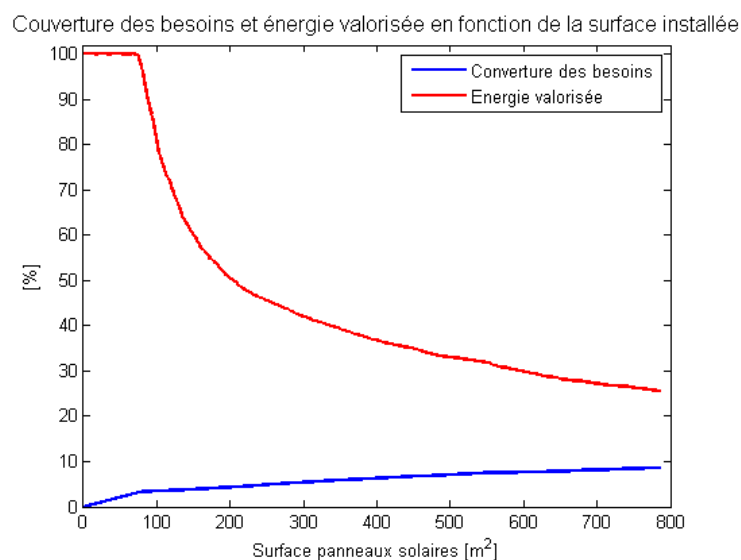
Bien évidemment, ce scénario est complètement absurde puisque seul 33% de l'énergie valorisable, c'est-à-dire produite par les panneaux solaires, (respectivement 26% pour tubes sous vide) est réellement utilisée. Dans le cas d'une utilisation directe, sans système de stockage, l'intégration de collecteurs sur la totalité de la surface est donc une aberration. Il est donc intéressant de chercher à optimiser la production de l'énergie solaire en faisant varier la surface installée.

La courbe bleue aux Figure 27 et Figure 28 représente l'évolution du taux de couverture des besoins ; c'est-à-dire la fraction de la consommation annuelle (chauffage + ECS) couverte par les apports solaires, en fonction de la surface installée. La courbe rouge montre le pourcentage de l'énergie solaire consommée par rapport à celle produite. Pour une surface de 787m<sup>2</sup>, on retrouve bien évidemment les chiffres présentés dans les paragraphes ci-dessus.





**Figure 27: Couverture des besoins et énergie valorisée en fonction de la surface installée – capteurs non vitrés**



**Figure 28: Couverture des besoins et énergie valorisée en fonction de la surface installée – capteurs sous vide**

Jusqu'à 100m² de surface installée (respectivement 75m² pour les capteurs tubes sous vide), la totalité de la production est consommée instantanément. Au-delà de ce seuil, et en l'absence d'accumulateur de chaleur, une partie de l'énergie est perdue.

### **Stockage maximal – consommation différée**

A l'opposé de la consommation directe, il existe le scénario dans lequel la totalité de la surproduction d'énergie est stockée pour être consommée au moment où il y a des besoins. En intégrant des capteurs solaires sur la totalité de la surface disponible, on obtient annuellement 415 MWh, ce qui représente **22.7%** des besoins totaux (chauffage + ECS), (36.6% avec les capteurs tubes sous vide).

La Figure 29 offre une représentation visuelle des apports solaires (avec capteurs non vitrés) par rapport aux besoins totaux de l'îlot. Il s'agit simplement de la Figure 23, sur laquelle la production solaire vient se superposer. La droite rouge correspond aux

besoins d'énergie pour l'ECS, soit 930 kWh/jours ; ce sont les seuls besoins de l'îlot entre le 21 mai (141<sup>ème</sup> jour) et le 09 octobre (281<sup>ème</sup> jour).

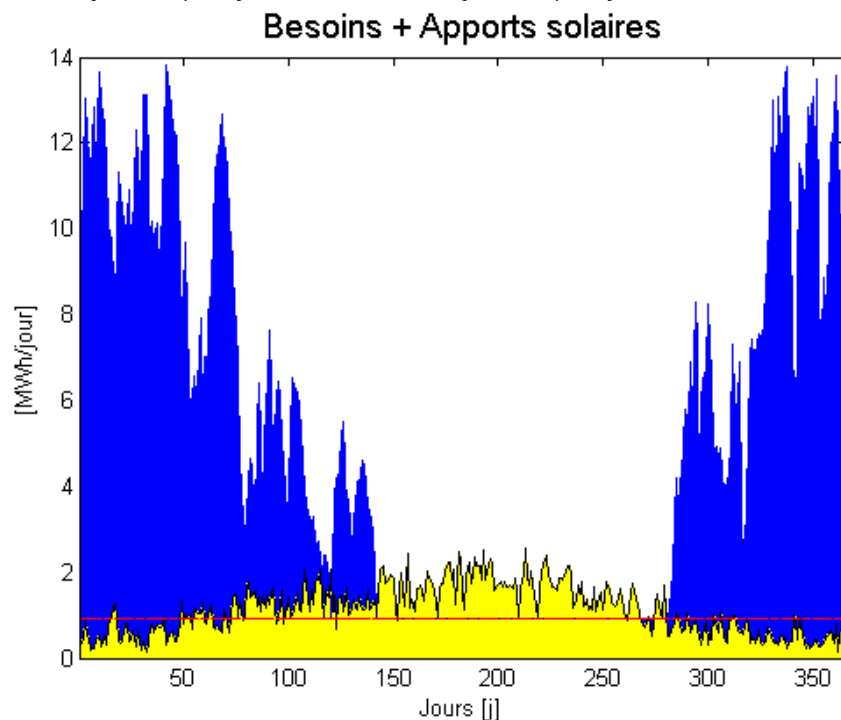


Figure 29: Besoins + apports solaire (capteur non vitrés)

Or, c'est précisément dans cette même période que les apports sont les plus importants ; la production solaire correspond à 172% de la consommation pour l'ECS durant cette période. La Figure 30 représente la variation du stockage d'énergie issue de la surproduction. Cette variation est représentée sous formes de mètres cubes d'eau à 50°C.

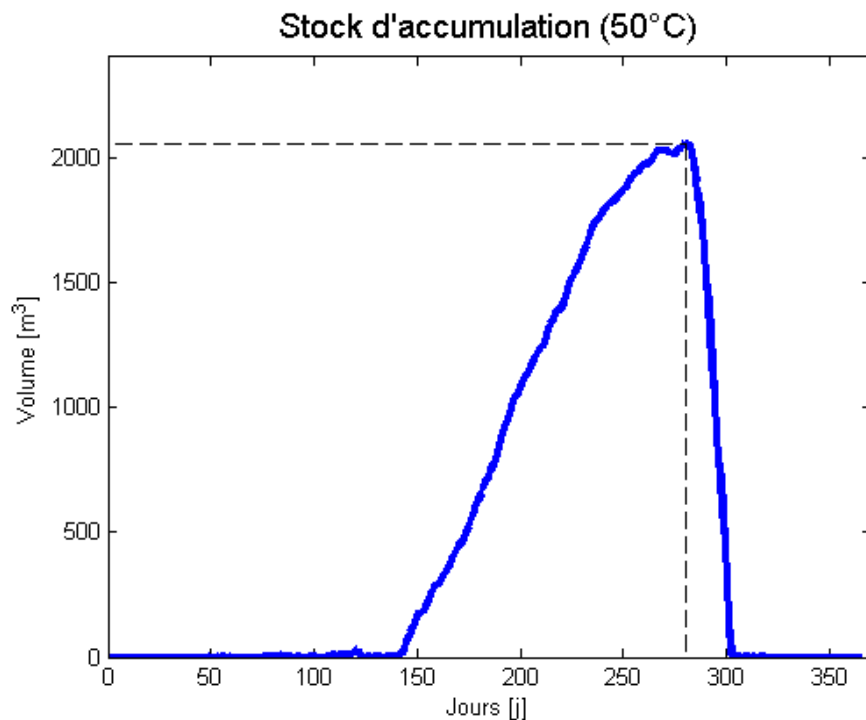


Figure 30: Variation journalière du stock [m³]

Un tel stockage retarderait l'enclenchement de la chaudière de 21 jours. Cependant, les dimensions du volume de stockage sont disproportionnées. En effet, il faudrait disposer d'un accumulateur de **2063.5 m<sup>3</sup>**, soit une cube de près de 12.8 m d'arête. Bien que la taille de la cour intérieure permette d'accueillir une telle installation, celle-ci ne serait bien évidemment jamais tolérée par les propriétaires.

Les effets de stagnation estivale dans les capteurs (négligés dans ces calculs) pourraient faire baisser quelque peu la production solaire, et par conséquent le volume du stockage. De plus, l'eau chaude pourrait être stockée à plus haute température, ce qui ferait baisser également la taille de l'accumulateur.

Dans tous les cas, il n'est pas raisonnable d'envisager la construction d'un tampon capable de différer la consommation de la totalité de la surproduction ; d'autant plus si la totalité de la surface disponible en toiture a été recouverte de panneaux solaires.

Il convient donc de trouver une situation optimisée.

### **Stockage optimisé**

Bien que la tentation soit grande, il n'est pas raisonnable de vouloir couvrir la totalité de la surface disponible sur la toiture, car cela génère trop de surplus non valorisable. L'optimisation d'un système se fait généralement en trouvant le meilleur compromis en fonction d'une série de paramètres préalablement choisis (coûts, CO<sub>2</sub>, efficacité énergétique, etc.).

Dans le cas présent, commençons par définir la surface de panneaux solaires minimale nécessaire à la couverture des besoins en eau chaude durant toute la période estivale (période durant laquelle le chauffage est stoppé, soit du 21 mai au 09 octobre). Pour cette partie, la modélisation est réalisée uniquement avec des panneaux solaires non vitrés. Il conviendra ensuite de trouver le volume de stockage adéquat afin de garantir de l'ECS à tout moment de la journée et de la nuit.

A partir de **457m<sup>2</sup>** installés, la totalité des besoins peuvent être couverts par l'énergie solaire durant l'été. La Figure 31 montre les apports ainsi que les besoins d'énergie durant cette période. Avec les 457m<sup>2</sup> de panneaux solaires, les zones jaunes au dessus de la ligne rouge (c'est-à-dire les surplus quotidiens) sont équivalentes aux zones bleues en dessous de cette même ligne (entre 140<sup>ème</sup> et le 280<sup>ème</sup> jour).

Les Figure 32 et Figure 33 illustrent la variation des besoins et des apports solaires à l'échelle du mois de juin (Figure 32) et en 3 jours (Figure 33).

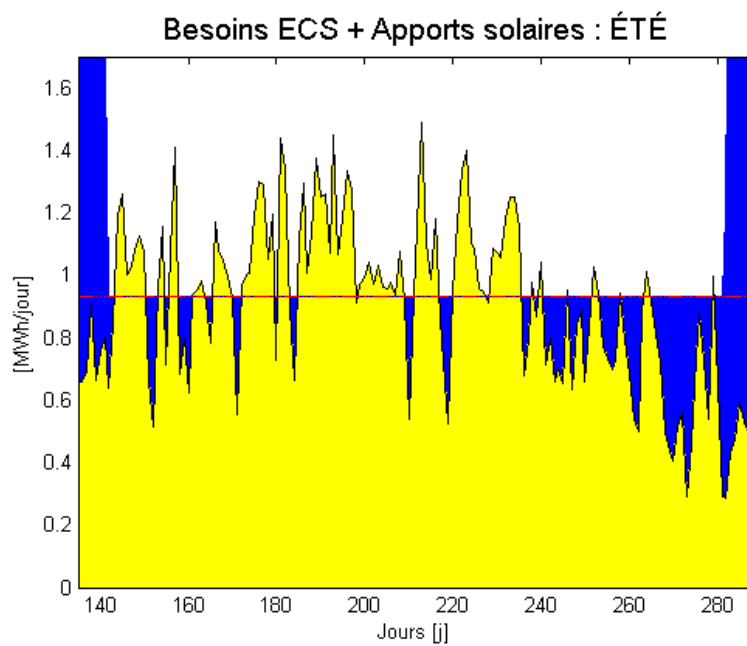


Figure 31: Besoins et apports solaires journaliers (avec 457m<sup>2</sup> de collecteurs)

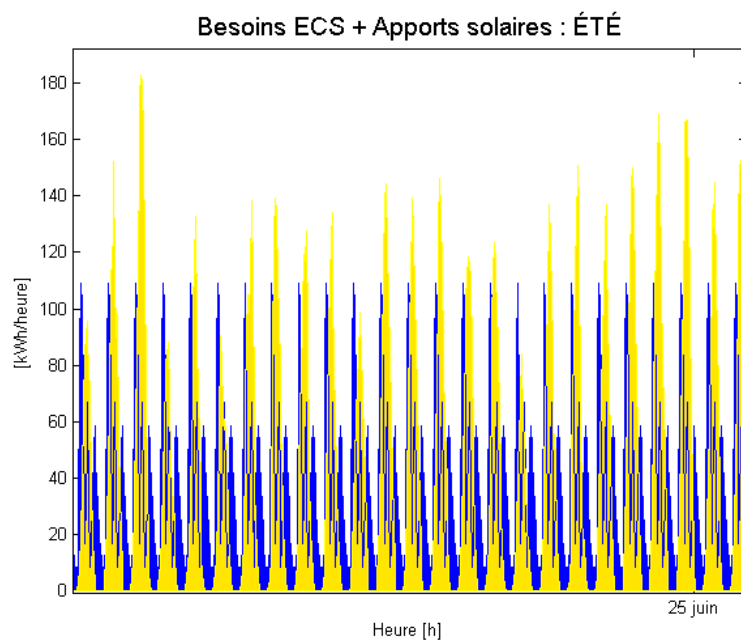


Figure 32: Besoins ECS et apports solaires - heure par heure (juin)

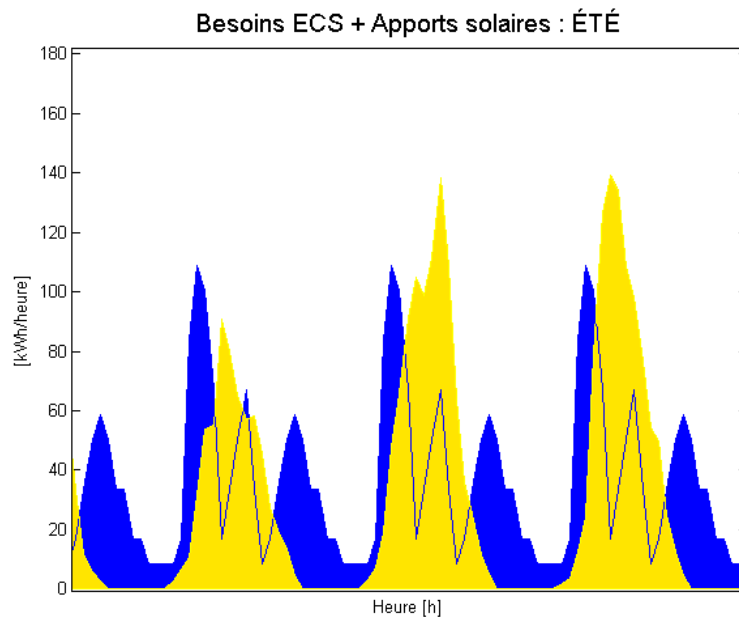


Figure 33: Exemple : zoom sur les besoins ECS et apports solaires - heure par heure

La Figure 34 représente la variation du stock durant la période qui s'étant du 21 mai au 9 octobre.

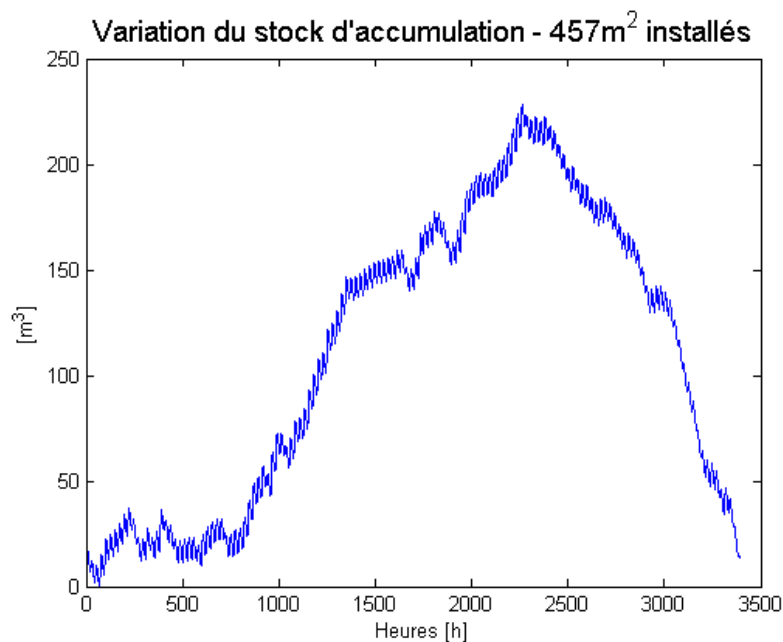


Figure 34: Stock durant la période estivale

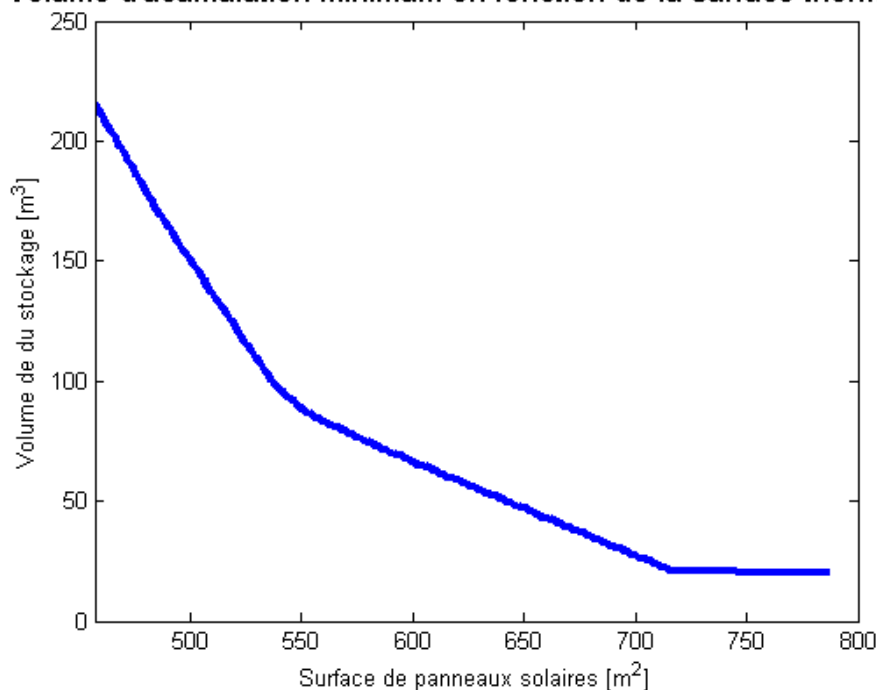
Il faut un stock de **221 m³**, soit un cube d'un peu plus de 6m d'arête. Dans cette situation, les apports solaires couvrent **13%** des besoins totaux annuels (chauffage + ECS), soit 71% des besoins uniquement pour la production d'ECS. De plus, 100% de l'énergie collectée par les panneaux solaires est valorisée.

Avec une surface de panneaux solaires plus importante, la puissance ainsi que l'énergie collectée est plus importante. Ainsi, il est possible de dimensionner un accumulateur plus petit. Le système perd alors en efficacité puisqu'il n'est pas possible d'exploiter la



totalité de l'énergie collectée. La Figure 35 montre la relation qu'il existe entre la surface de panneaux solaires intégrés à la toiture et le volume minimal que l'accumulateur doit avoir pour subvenir aux besoins durant tout l'été (stockage à 50°C). La surface varie entre 457m<sup>2</sup>, surface minimale de collecteur pour couvrir l'ECS en été, et 787m<sup>2</sup>, surface totale disponible sur l'îlot.

**Volume d'acumulation minimum en fonction de la surface thermique**



**Figure 35: Volume du stockage en fonction de la surface solaire thermique installée**

Le volume de stockage diminue fortement en fonction de la surface de panneaux installée, et ce, jusqu'à un seuil de **550m<sup>2</sup>**. A partir de ce seuil et pour chaque mètre carré supplémentaire installé, la taille de l'accumulateur diminue toujours, mais moins rapidement. Au-delà de 720m<sup>2</sup>, le volume du stockage semble se stabiliser (20.4m<sup>3</sup>). Il s'agit du volume critique qui permet d'accumuler l'eau chaude d'une journée pour les besoins de la soirée et de la forte demande du matin.

En observant la Figure 31 à nouveau, il est facile de s'apercevoir que l'irradiation solaire n'est plus très forte à partir du début du mois de septembre (243<sup>ème</sup> jour de l'année). En effet, du 1<sup>er</sup> septembre au 9 octobre (jour du ré-enclenchement du chauffage), les apports solaires ne fournissent que plus que 76.5 % de la consommation pour l'ECS. Les 23.5% restants proviennent du stock d'accumulation. Ainsi, en réduisant le nombre de jours pendant lequel le système est indépendant (c'est-à-dire, uniquement alimenté par l'énergie solaire), le volume du stockage est également réduit.

### **Bénéfices de l'intégration de panneaux solaires - Résultats**

Il existe une multitude de combinaisons possibles entre la surface de collecteurs et le volume de stock. Néanmoins, comme il a été relevé dans la section précédente, la taille de l'accumulation diminue fortement jusqu'à une valeur de **88m<sup>3</sup>**, correspondant à **550m<sup>2</sup>** de panneaux solaires.

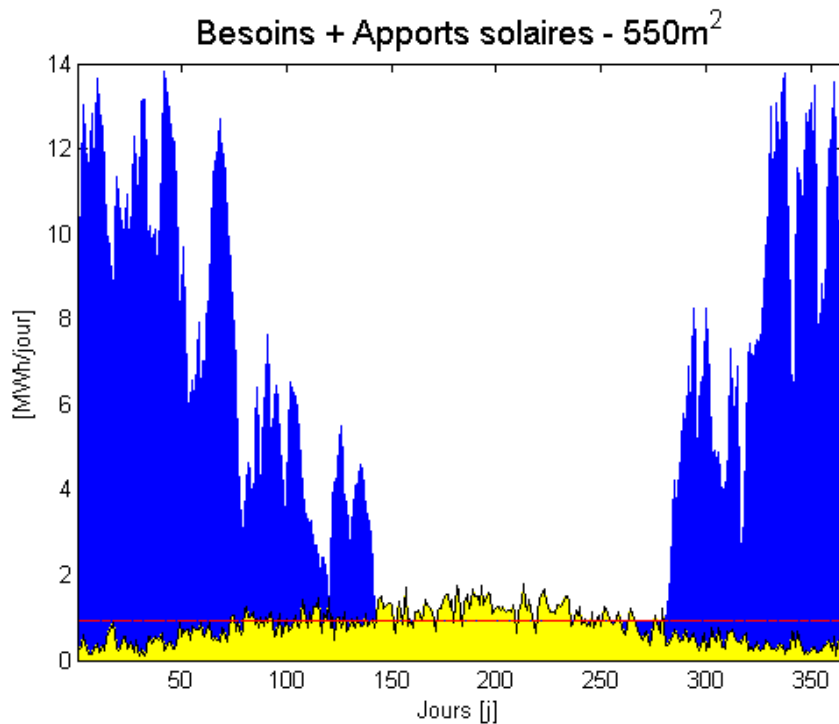


Figure 36: Besoins et apports solaires (550m<sup>2</sup> de panneaux solaires)

Voyons maintenant les effets si une telle surface devait être installée. La Figure 36 montre les apports solaires par rapport aux besoins.

Dans cette configuration, **14.4%** de la consommation thermique de l'îlot est couverte par les capteurs non vitrés, ce qui représente **77.5%** des besoins pour l'eau chaude sanitaire. En outre, l'ECS est entièrement couverte pendant la saison de non chauffage. Avec un stock de 88m<sup>3</sup> (température de stockage : 50°C), la part d'énergie valorisée est de **90.7%** (c'est-à-dire le taux d'utilisation de l'énergie collectée) ; l'augmentation de la température de stockage permettrait d'en valoriser une partie supplémentaire.

Les Figure 37 et

Figure 38 illustrent les besoins totaux respectivement, avant et après l'intégration des collecteurs thermiques.

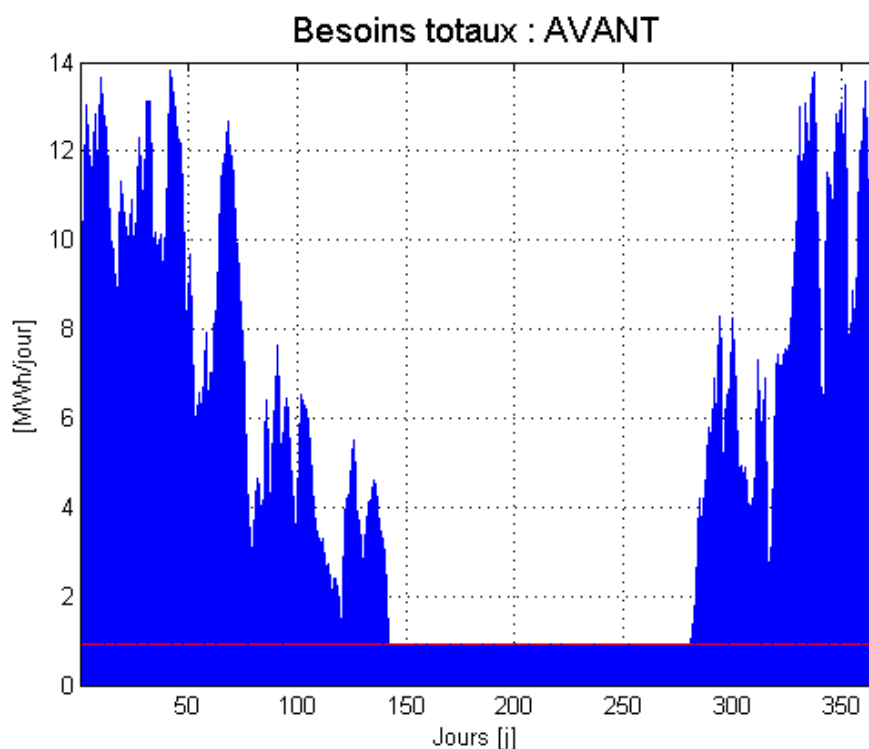


Figure 37: Besoins de chaleur avant l'intégration de panneaux solaires

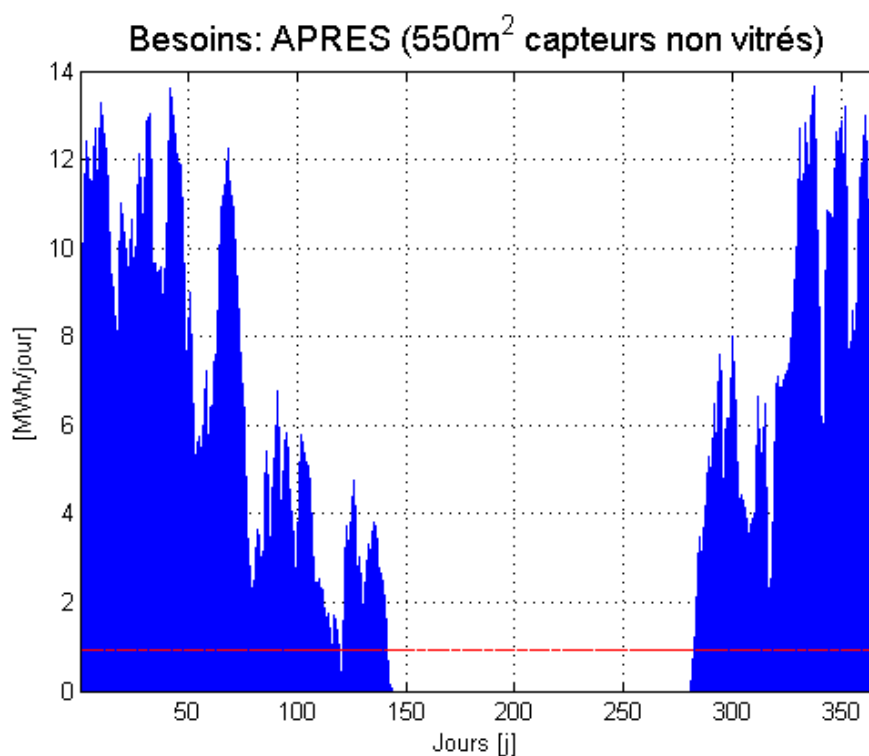


Figure 38: Besoins de chaleur après l'intégration de panneaux solaires

Rappelons ici que la consommation totale de l'îlot était de **2.44 GWh** et que les émissions de CO<sub>2</sub> s'élevaient à **599.59 tonne**. Etant donné que l'îlot n'est équipé que de vieilles chaudières, l'énergie réelle nécessaire est estimée à **1.83 GWh** (soit un rendement moyen des chaudières de 0.75). En retranchant l'énergie solaire captée et



valorisée, les besoins devant être couverts par une autre source d'énergie s'élèvent à **1.565 GWh**.

Supposons maintenant que ces besoins restant, sont entièrement couverts par une chaudière à gaz à condensation moderne. La norme SIA propose une valeur moyenne pour le rendement de 0.9 (SIA380/1, 2009). La consommation de gaz serait alors de **1.739 GWh**, n'émettant ainsi *plus que* **344.33 tonne** de CO<sub>2</sub>. La réduction est donc de **255.26 tonne**, soit une diminution de 42.6% des émissions par rapport à la situation initiale.

### Commentaires

Plusieurs paramètres n'ont pas été pris en compte dans la modélisation. De manière générale, les pertes thermiques ont été négligées. Elles ne devraient cependant pas être très élevées. En effet, dans le scénario le plus probable, les conduites transiteraient par les caves des différents immeubles. Le réservoir d'accumulation, quant à lui, a de fortes chances de se retrouver dans la cour intérieure au vu de ses dimensions (cube de 4.45m de côté). Dans ce cas, une bonne isolation est à prévoir. L'énergie et la puissance réellement fournies par les capteurs devraient donc être légèrement inférieures aux valeurs présentées ci-dessus.

La simulation a été effectuée de telle manière qu'il n'y a qu'un seul preneur de chaleur. De plus, la distribution est directe, sans réseau de distribution ni échangeurs. La puissance de distribution doit donc être revue à la hausse en fonction du nombre d'échangeur et de leur efficacité.

La température d'accumulation a été fixée à 50°C dans le stock; valeur très conservatrice. La température en sortie des capteurs peut-être bien plus élevée, notamment en été. La taille du stock pourrait donc être revue à la baisse. Une autre manière de baisser drastiquement le volume d'accumulation est de jouer avec la chaleur latente de l'eau. En effet, cette dernière est approximativement 80 fois plus élevée que la chaleur sensible. Cette méthode requiert donc un bac d'eau/glace et l'utilisation d'une pompe à chaleur capable d'extraire de l'énergie à ces températures.

Enfin, l'optimisation et la prise de décision passent par une connaissance parfaite des différents paramètres, notamment les coûts de chaque matériau et composant du système. Il faudrait, par exemple, disposer des prix d'accumulateurs en fonction de leurs volumes, ou bien encore, connaître le coût du mètre carré de panneau solaire en fonction de la surface totale achetée. Malheureusement, il n'est pas aisé de se procurer ce type de données pour des installations d'une telle envergure.

## 4 Effets sur les îlots

La diminution drastique des émissions de CO<sub>2</sub> constatée au chapitre précédent est due à deux facteurs : la rénovation des chaudières ainsi que l'intégration de panneaux solaires thermiques.

### Rénovation des chaudières

Il est intéressant de considérer, seule, la diminution engendrée par la réhabilitation des anciennes chaudières. Pour une quantité d'énergie équivalente, le mazout émet 34% de CO<sub>2</sub> en plus par rapport au gaz naturel. De plus, les rendements des chaudières actuelles sont significativement plus élevés que ceux rencontrés dans les années 90. En effet, celui-ci est passé de 0.75 à 0.90 aujourd'hui (SIA380/1, 2009).

Ainsi, un remplacement la totalité des chaudières au sein des îlots aurait pour conséquence de diminuer de 31% (26'700 t) les émissions de CO<sub>2</sub>.

### Intégration de panneaux solaires

Contrairement à ce qui avait été pensé en début de travail, il est compliqué d'extrapoler les résultats obtenus pour l'îlot de Plainpalais à l'ensemble des îlots sélectionnés dans la première partie ; chacun d'entre eux ayant ses spécificités.

En considérant le rendement annuel de productivité calculé à la section 3.5.4 pour les capteurs plan non vitrés (46%), il est néanmoins, il est possible de faire une constatation intéressante. A une seule exception près, la totalité des îlots sélectionnés ont une surface solaire utile suffisamment grande pour assurer (au moins) une production renouvelable durant toute la période estivale considérée dans ce travail (21 mai au 9 octobre), soit pendant 141 jours.

Dans ce cas, si toutes les toitures étaient équipées de cette surface minimale, et si en plus de cela, le reste des besoins et étaient couverts par une chaudière moderne, la baisse des émissions de CO<sub>2</sub> serait de 41.8%, par rapport à la situation initiale, soit une baisse de 35'850 tonnes de CO<sub>2</sub>.

Parmi les 156 îlots sélectionnés, le n°24 fait figure d'*outsider*. Il est le seul à ne pas pouvoir produire de manière autonome la totalité de ses besoins pour l'ECS en été. Sa petite surface utile pour l'implantation de panneaux solaires (186m<sup>2</sup>) lui permet de couvrir environ 65% de sa consommation estivale. Il s'agit de l'îlot à l'extrême *est* du parc *Geisendorf*. Cette situation est d'autant plus ennuyante que le bloc d'immeubles n'est alimenté que par des chaudières à mazout (Figure 39).

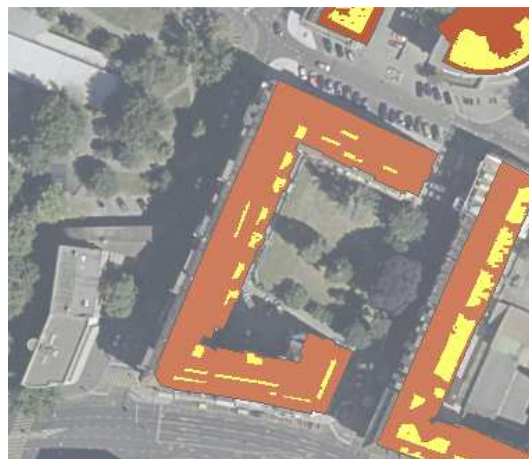


Figure 39: Îlot non-autonome (id îlot = 24)

## 5 Aspects légaux

### 5.1 Généralités

Au delà des défis techniques, la mutualisation des installations de production de chaleur au sein des îlots peuvent soulever plusieurs obstacles d'ordres juridiques. De manière générale, la loi protège les propriétaires en leur accordant des droits et des privilèges. La plupart de ces règles se trouvent dans le Code Civil, (CC, 1907), texte des normes législatives du droit privé suisse.

Il existe en Suisse plusieurs niveaux de lois : les lois fédérales, les lois cantonales et les lois communales. Les lois cantonales ne peuvent en aucun cas contredire les lois édictées au niveau fédéral. Cependant, elles peuvent apporter plus de restrictions et plus de contraintes que les lois fédérales. De la même façon, les lois communales ne peuvent contredire les lois situées hiérarchiquement, au niveau supérieur.

Avant de parcourir certaines dispositions légales qui pourraient concerner les îlots, il convient d'abord de rappeler quelques brèves définitions.

### 5.2 Servitudes

En droit réel (droit sur les « choses »), une servitude est une charge qui est imposée à un fonds (dit « fonds servant ») au profit d'un bénéficiaire (dit « fonds dominant »). Il existe plusieurs types de servitudes prévues par le Code Civil.

#### 5.2.1 Servitude d'usufruit

L'usufruit immobilier est une servitude qui permet à son bénéficiaire de jouir d'une chose et d'en prélever les fruits (les bénéfices), sans toutefois en être le propriétaire (art. 745 à 775 CC). En contrepartie, le bénéficiaire se doit d'assumer les charges ordinaires et l'entretien de l'immeuble (ou d'une partie). Cependant, il n'est pas tenu d'assumer les charges extraordinaires ou les travaux conséquents.

#### 5.2.2 Droit de superficie

Le droit de superficie confère à son titulaire le droit de posséder ou de faire des constructions sur un fonds grevé (art. 779 à 779I CC). Il permet ainsi de dissocier la propriété du sol et celle de l'ouvrage construit sur ce même fonds. Pour qu'une telle servitude puisse être constituée, l'ouvrage doit être *distinct* d'autres ouvrages et former un tout. De plus, il doit s'agir d'une construction immobilière à caractère durable.

#### 5.2.3 Conduites

Les conduites sont des installations particulières qui font l'objet de dispositions spécifiques dans le Code Civil. Au sens de la loi, les conduites sont des installations aptes à transporter des matières liquides, gazeuses ou de l'énergie, souterraines ou aériennes.

En règle générale, la propriété du sol implique la propriété de toute construction qui se trouve en dessous et au dessus, dans toute la hauteur et la profondeur utile selon l'art. 667 du Code Civil suisse. Cependant, le propriétaire de conduites reste maître de ses installations lorsque le fonds d'un tiers, par lequel transitent ses conduites, est grevé d'une *servitude de conduite* ; une forme particulière de droit de superficie.



Une servitude de conduite peut être volontaire (art. 676 CC), c'est-à-dire lorsque le propriétaire du fonds grevé tolère le transit des conduites sur sa propriété, ou alors nécessaire (art. 691 ss CC). Dans ce deuxième cas, l'autorité compétente peut forcer le propriétaire à supporter, sous certaines conditions, que des conduites traversent son fonds.

Lorsque la servitude est volontaire, la constitution de la servitude doit faire l'objet d'une *convention*; celle-ci doit être passée en la forme authentique (art. 732 al. 1 CC), c'est-à-dire qu'elle doit être effectuée en présence d'un officier public, le notaire. La servitude est alors inscrite au registre foncier. Dans le cas où la conduite est apparente, la servitude naît sans obligation d'inscription au registre foncier (art. 676, al. 3 CC), par le seul fait de son établissement sur le fonds. Par *apparente*, on entend les conduites visibles par tout un chacun, depuis la surface du bien-fonds. Une conduite souterraine peut également être *apparente* si elle est clairement signalée par une cheminée d'aération par exemple (Galland, 2013). Les servitudes et les droits de passage impliquent bien évidemment des compensations financières pour le propriétaire lésé.

Il est possible qu'un propriétaire refuse de voir transiter des conduites sur son fonds. Dans cette situation, le Code Civil prévoit des dispositions spéciales pour obliger un propriétaire à se soumettre. L'autorité compétente (tribunal) se prononce alors et rend un *jugement constitutif de la servitude*, pour autant que les quatre conditions ci-dessous soient remplies :

- Il doit s'agir de conduites telles que décrite ci-dessus ; la notion de transport est *particulièrement* importante.
- Le bénéficiaire de la servitude doit notamment prouver que le passage sur le fonds convoité est la seule solution ou qu'il serait excessivement coûteux (et donc disproportionné) de procéder autrement (art. 691, al. 1 CC).
- Le propriétaire qui demande la constitution de la servitude ne doit pas être en mesure d'invoquer le droit à l'expropriation (art. 691 al. 2 CC).
- Le propriétaire lésé doit obtenir la réparation intégrale du dommage qu'il subit, même avant l'exécution des travaux (art. 691 al. 1 CC). Il peut aussi exiger que ses intérêts soient équitablement pris en considération (art. 692, al. 1 CC), c'est-à-dire que la conduite soit disposée de manière qu'elle lui cause le moins de désagréments.

Dès le moment où les parties se mettent d'accord sur les modalités ainsi que sur la compensation financière à verser, elles concluent un *contrat constitutif de la servitude de conduite*. Conformément à l'art. 70, al. 2 de l'Ordonnance sur le Registre Foncier, ce contrat doit revêtir la forme écrite.

La servitude de conduite comprend implicitement un *droit de passage* permettant au bénéficiaire et de faire des vérifications des installations et de procéder éventuellement à des travaux d'entretiens (Galland, 2013). Dans le cas où le bénéficiaire de la servitude est une entreprise (qui cherche donc à tirer profit de ses conduites), celle-ci devrait normalement obtenir un *droit de gage* pour chacune des conduites sur chaque fonds qu'elles traversent, impliquant plusieurs démarches extrêmement compliquées. Afin de simplifier cette situation, le Code Civil prévoit des dispositions particulières à l'art. 676, al. 1 CC, stipulant que les conduites provenant ou conduisant à une entreprise et qui se

trouvent sur le fonds d'un tiers font automatiquement partie de l'entreprise. Néanmoins, l'établissement d'une servitude et tout de même nécessaire (Galland, 2013).

La valeur de la servitude se calcule en suivant la méthode proposée à l'art. 19 de la Loi fédérale sur l'expropriation (LEx).

La durée de la servitude devra être spécifiée dans le contrat. La durée maximale de la servitude est de 100 ans (art. 749, al.2) ; elle peut toutefois être prolongé plusieurs fois.

### 5.3 Locaux techniques et toitures

Contrairement aux conduites, il n'existe aucun moyen légal de forcer un propriétaire à céder une partie de son bien-fonds. L'établissement d'un contrat permettant de disposer d'un local ou d'une parcelle de terrain doit être discutée et négociée directement avec le propriétaire ou la régie.

L'établissement d'une servitude de type « usufruit » ou « droit de superficie » est préférable à un simple contrat de location dans ce cas. En effet, le contrat de bail est facilement résiliable par l'une ou l'autre des parties.

Dans le cas, par exemple, où une toiture est grevée par une servitude d'usufruit, le bénéficiaire se doit de conserver et d'entretenir la chose. Il est tenu de rendre la chose dans le même état ou alors en meilleur état. Cependant, il n'est pas tenu de procéder aux éventuels travaux de rénovations sur celle-ci.

### 5.4 Panneaux solaires

Bien que le recours aux énergies renouvelables soit une volonté affirmée des autorités, celles-ci n'accordent pas systématiquement les autorisations de construction pour les dispositifs permettant de collecter l'énergie naturelle à disposition (solaire, chaleur de l'environnement, géothermie, éolien, etc.). Les autorisations de construire sont en effet sujettes à un grand nombre de critères et d'exigences provenant des différents départements de l'État.

Dans le domaine du solaire, l'art. 18a de la loi sur l'aménagement du territoire (LAT, 1979) pose un cadre très général. Dans les zones à bâtir et les zones agricoles, les installations solaires soigneusement intégrées aux toits et aux façades sont autorisées dès lors qu'elles ne portent atteinte à aucun bien culturel ni à aucun site naturel d'importance cantonale ou nationale (DCTI, 2013). Les définitions plus précises, notamment des termes *soigneusement*, *atteinte* et *bien culturel* sont laissées à l'appréciation des cantons, voire des communes.

Dans le canton de Genève, toute construction doit faire l'objet d'une autorisation auprès du département de l'urbanisme selon l'art. 1 LCI (LCI, 1988), ceci s'applique également à l'installation de panneaux solaire. Cette autorisation peut être refusée pour des raisons esthétiques liées à la construction (art. 15 LCI) ; mais également si le lieu d'implantation revête un caractère historique ou culturel particulier. Ainsi, la commission des monuments, de la nature et des sites (CMNS) intervient elle aussi dans le processus d'autorisation évaluant chaque demande au cas par cas. Il existe de manière générale, des zones protégées dans lesquelles l'implantation de panneaux solaires est particulièrement surveillée et exceptionnellement admise. Il s'agit du secteur de la Vieille Ville et de ses fortifications, le Vieux Carouge, les rives du lac ainsi que celles des cours d'eau et les villages. De plus, certains objets sont protégés de part leur année de construction ou parce qu'ils sont inscrits à l'inventaire des monuments classés.

L'ensemble des immeubles du XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> font parti de la liste des objets protégés. L'intégration de collecteurs solaires y est généralement admise, mais fera l'objet d'une attention particulière de la part des autorités. L'installation devra, par exemple, se limiter aux surfaces plates et aux terrassons des toitures mansardées (c'est-à-dire la partie supérieure des toitures à plusieurs pentes, généralement peu inclinées).

En matière d'énergie, toute rénovation de toiture doit faire l'objet d'intégration de capteurs solaires couvrants, au minimum, 30% des besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire, conformément à l'art. 15 de la loi sur l'énergie (LEn, 1987, revue en 2010). La loi prévoit cependant quelques exceptions, notamment lorsque l'investissement est disproportionné, en cas de mauvaises orientations des toitures ou lorsque les besoins en eau chaude sanitaire sont faibles en été.



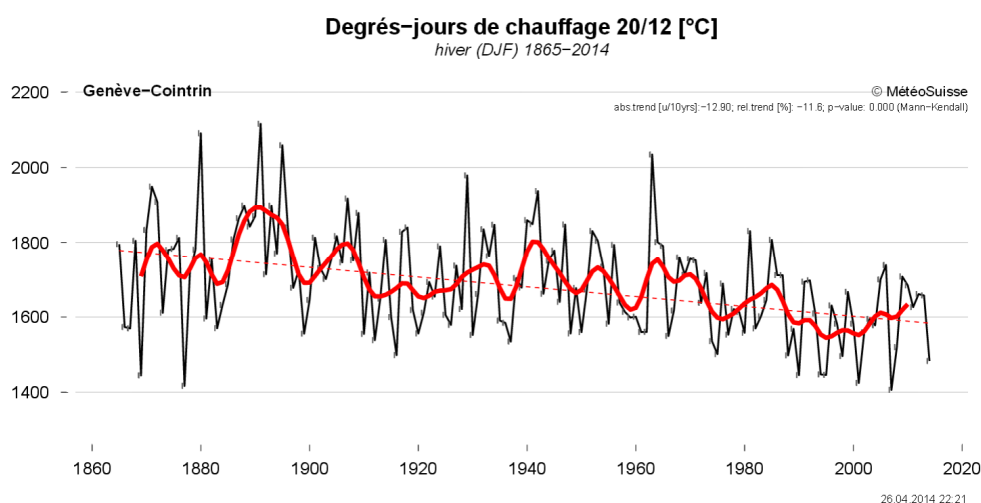
## 6 Conclusion

Il convient de répéter ici que l'ensemble des données exploitées provient du SITG. Par conséquent les valeurs ne sont pas fiables à 100% ; é plusieurs reprises, des données aberrantes ont été constatées. Concernant les surfaces solaires utiles, bien qu'elles aient été calculés selon un procédé très rigoureux et à partir de données précises (LiDAR), il n'en reste pas moins qu'il s'agit de données *théoriques*. De plus, la multitude de petites surfaces utiles ont été agrées pour n'en former qu'une seule grande.

Il existe plusieurs pistes concernant le développement de ce projet. Voici quelques pistes :

- Cogénération + pompe à chaleur
- Forages géothermiques
- Système de stockage d'énergie faisant intervenir la chaleur latente de l'eau (stock d'eau/glace)

Enfin, il est intéressant de constater qu'au fil des années, les besoins d'énergie pour le chauffage ont tendance à diminuer. En effet, il a été constaté que le nombre total de degrés-jours est en constante diminution depuis plusieurs années (voir figure Figure 40Figure 40). Peut-être un des seuls points positif réchauffement climatique.



**Figure 40: Diminution des degrés-jours depuis 1960 (Source: MeteoSuisse)**

## 7 Bibliographie

CC. (1907). *Code Civil Suisse*. Berne.

DCTI. (2013). *Panneaux solaires et préservation des sites bâtis - fiche de recommandations*. Genève.

Galland, C. (2013). *Le contenu des servitudes foncières*. Fribourg: Schulthess.

Girardin, L. e. (2009). *EnerGis : A geographical information based system for the evaluation of integrsted energy conversion systemps in urban areas*. Lausanne: LENI-IGE-STI-EPFL.

Girardin, L. (2009). EnerGis: A geographical information based system for the evaluation of intergrated energy conversion systems in urban areas. *Elsevier*, 3.

Keller, L., & Manfred, A. (1993). *Pompes de circulation, Approche pragmatique pour diminuer la puissance installée et l'énergie consommée*. Berne: Ravel.

LAT. (1979). *Loi fédérale sur l'aménagement du territoire*. Berne.

LCI. (1988). *Loi sur les constructions, LCI*. Genève: Législation genevoise.

LEn. (1987, revue en 2010). *Loi sur l'énergie*. Genève.

OCSTAT. (2013). *Statistique des ventes de combustibles et carburants*. Genève: Office Cantonal de la statistique.

OCSTAT, G. (2005). *Les conditions d'habitation dans le canton de Genève*. Genève: Résultats du recensement fédéral de la population 2000.

OFEN. (2012). *Statistique globale suisse de l'énergie*.

OFEN. (2011). *Statistique suisse de l'électricité 2011*. Office fédéral de l'énergie.

OFEN, M. &. (2010). *Garantie de performance*. Monthey.

OFEV, O. (2012). *Protection du climat: projets menés en Suisse*. Berne.

Quiquerez, L., & Cabrera, D. (2013). *Températures de distribution de chauffage du parc immobilier genevois*. Genève: UNIGE.

Recknagel. (2011). *Recknagel - Génie Climatique*. Dunod.

SIA, S. S. (2009). *Les besoins en énergie des installations de chauffage*.

SIA380/1. (2009). *L'énergie thermique dans le bâtiment*. Zurich.

Wikipédia. (s.d.). *ilot urbain*. Consulté le 04 04, 2014, sur [http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%8Elot\\_urbain](http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%8Elot_urbain)

## Annexe 1 : Besoins typiques pour les bâtiments à Genève

### ARTICLE IN PRESS

L. Girardin et al. / Energy xxx (2009) 1–11

3

**Table 1**  
Annual energy requirements.

Category	Construction/renovation	$n_b$	$\bar{q}_{\text{boil}} \pm \sigma_{\text{gas}}$	$\sigma_{\text{poa}}$	$\bar{q}_{\text{heat}, c}$	$\bar{q}_{\text{hw}, c}$	$\bar{q}_{\text{cool}, c}$	Electricity
		[–]	[kWh/(m <sup>2</sup> year)]		[kWh/(m <sup>2</sup> year)]			
Resid1	<1920	494	166.17 ± 3.11	69.14	115.27	34.28	0.00	27.78
Resid2	1920–1970	2533	181.39 ± 0.82	41.51	128.97	34.28	0.00	27.78
Resid3	1970–1980	938	174.84 ± 1.20	36.80	123.07	34.28	0.00	27.78
Resid4	1980–2005	1582	135.28 ± 1.06	42.24	87.47	34.28	0.00	27.78
Resid5	2005–2020	0	–	–	38.77	34.28	0.00	27.78
Resid6	2020–2030	0	–	–	26.60	34.28	0.00	27.78
Resid7	<1920 Renovated	0	–	–	35.12	34.28	0.00	27.78
Resid8	1920–1970 Renovated	0	–	–	52.17	34.28	0.00	27.78
Resid9	1970–1980 Renovated	0	–	–	47.30	34.28	0.00	27.78
Resid10	1980–2005 Renovated	0	–	–	54.60	34.28	0.00	27.78
Admin1	<1920	29	137.05 ± 12.04	64.86	111.92	11.43	0.00	22.22
Admin2	1920–1970	32	136.88 ± 6.15	34.80	111.76	11.43	0.00	22.22
Admin3	1970–1980	18	141.64 ± 8.11	34.41	116.05	11.43	13.15	22.22
Admin4	1980–2005	27	124.18 ± 9.59	49.81	100.33	11.43	19.11	22.22
Admin5	2005–2020	0	–	–	55.63	11.43	25.37	22.22
Admin6	2020–2030	0	–	–	44.45	11.43	27.99	22.22
Admin7	<1920 Renovated	0	–	–	52.28	11.43	25.98	22.22
Admin8	1920–1970 Renovated	0	–	–	67.92	11.43	26.03	22.22
Admin9	1970–1980 Renovated	0	–	–	63.45	11.43	27.55	22.22
Admin10	1980–2005 Renovated	0	–	–	70.16	11.43	25.49	22.22
Comm1	<1920	1	56.11 ± 0.00	0.00	27.65	22.85	0.00	33.33
Comm2	1920–1970	1	111.67 ± 0.00	0.00	77.65	22.85	0.00	33.33
Comm3	1970–1980	1	97.22 ± 0.00	0.00	64.65	22.85	34.33	33.33
Comm4	1980–2005	5	84.67 ± 14.14	31.63	53.35	22.85	44.12	33.33
Comm5	2005–2020	0	–	–	22.87	22.85	52.94	33.33
Comm6	2020–2030	0	–	–	15.25	22.85	56.45	33.33
Comm7	<1920 Renovated	0	–	–	20.58	22.85	53.32	33.33
Comm8	1920–1970 Renovated	0	–	–	31.25	22.85	53.39	33.33
Comm9	1970–1980 Renovated	0	–	–	28.20	22.85	56.46	33.33
Comm10	1980–2005 Renovated	0	–	–	32.77	22.85	53.00	33.33
Indus1	<1920	4	181.11 ± 18.21	36.43	151.57	11.43	0.00	16.67
Indus2	1920–1970	6	183.75 ± 19.80	48.51	153.95	11.43	0.00	16.67
Indus3	1970–1980	1	146.67 ± 0.00	0.00	120.57	11.43	0.00	16.67
Indus4	1980–2005	5	101.89 ± 16.92	37.84	80.27	11.43	0.00	16.67
Indus5	2005–2020	0	–	–	43.59	11.43	0.00	16.67
Indus6	2020–2030	0	–	–	34.42	11.43	0.00	16.67
Indus7	<1920 Renovated	0	–	–	40.84	11.43	0.00	16.67
Indus8	1920–1970 Renovated	0	–	–	53.68	11.43	0.00	16.67
Indus9	1970–1980 Renovated	0	–	–	50.01	11.43	0.00	16.67
Indus10	1980–2005 Renovated	3	144.26 ± 1.80	3.12	55.51	11.43	0.00	16.67

Figure 41: Besoins typiques de bâtiments à Genève (Source : (Girardin L. e., 2009))



Annexe 2 : Répartition Mazout et Gaz – carte des fiabilités

La carte ci-dessous illustre la fiabilité des données présentées à la Figure 10. En effet, la répartition effectuée à la Figure 10 est calculée par rapport aux agents énergétiques connus. Il y a donc, pour certains îlots, un pourcentage de la consommation qui est inconnu. La Figure 42 exprime ce pourcentage.



Figure 42: Part d'énergie couverte par un agent énergétique inconnu



Annexe 3 : Données sur les îlots

Au dessus de ce tableau se trouve la carte thématique permettant de localiser un îlot en fonction de son numéro d'identification (colonne A)

- A : numéro d'identification de l'îlot

B : nombre de chaudières comptabilisées

C : âge moyen des chaudières [ans]

D : consommation totale [GWh]

E : consommation de gaz [kWh]

F : consommation de mazout [kWh]

G : consommation agent énergétique inconnu [kWh]

H : émissions initiale de CO<sub>2</sub> [kg]

I : ratio de gaz par rapport à la consommation totale [-]

J : ratio de gaz mazout rapport à la consommation totale [-]

K : ratio d'agent inconnu par rapport à la consommation totale [-]
- L : émission de CO<sub>2</sub> avec seul changement de chaudière [kg]

M : taux de réduction de CO<sub>2</sub> (par rapport à la colonne L

N : surface solaire utile [m²]

O : irradiation solaire moyenne pondérée [kWh/m²/an]

P : irradiation totale par année [kWh]

Q : surface de Référence Énergétique [m²]

R : production solaire annuelle [kWh]

S : besoins en énergie après intégration de ST [kWh]

T : consommation de gaz après intégration solaire [kWh]

U : émission CO<sub>2</sub> après intégration ST + changement chaudières [kg]

V : réduction des émissions de CO<sub>2</sub> par rapport à la situation initiale [%]

Note : R est production solaire annuelle, telle que la production estivale est égale à la consommation estivale pour l'ECS.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	A
	170	8	21	1.65120	793521	857679	0	384659	0.48	0.52	0.00	272448	-0.29	774	1158	896340	12499	201183	1037217	1152463	228188	-0.41	170
	169	8	21	1.92099	393967	1527022	0	483124	0.21	0.79	0.00	316963	-0.34	317	1125	356680	12653	203661	1237081	1374534	272158	-0.44	169
	168	10	14	1.71835	859828	858525	0	398013	0.50	0.50	0.00	283528	-0.29	477	1108	528293	13146	211597	1077168	1196853	236977	-0.40	168
	167	5	16	1.25386	649924	603931	0	288908	0.52	0.48	0.00	206886	-0.28	325	1118	363482	10132	163084	777307	863675	171008	-0.41	167
	166	7	17	1.66608	954501	711574	0	377772	0.57	0.43	0.00	274902	-0.27	322	1146	369070	12364	199010	1050546	1167274	231120	-0.39	166
	165	12	24	3.99630	1039697	2956598	0	990245	0.26	0.74	0.00	659389	-0.33	1591	1165	1853751	32569	524227	2472994	2747771	544059	-0.45	165
	164	6	21	2.36721	881963	907518	577724	553816	0.49	0.51	0.24	390589	-0.29	452	1141	515604	15624	251482	1523922	1693246	335263	-0.39	164
	163	4	30	1.00782	506682	501134	0	233274	0.50	0.50	0.00	166290	-0.29	290	1122	325404	6836	110032	645830	717589	142083	-0.39	163
	162	12	24	2.23927	425584	1498831	314852	557344	0.22	0.78	0.14	369479	-0.34	776	1153	894712	15314	246492	1432958	1592176	315251	-0.43	162
	161	13	19	3.09599	987894	1855773	252323	748396	0.35	0.65	0.08	510838	-0.32	1020	1140	1162364	21872	352049	1969944	2188826	433388	-0.42	161
	160	17	19	3.75071	1563471	1832424	354813	880723	0.46	0.54	0.09	618867	-0.30	1826	1164	2126191	27525	443039	2369992	2633324	521398	-0.41	160
	159	11	18	2.76146	931677	1829779	0	669912	0.34	0.66	0.00	455640	-0.32	818	1128	922849	19442	312936	1758156	1953507	386794	-0.42	159
	158	5	17	1.33077	705847	624925	0	305550	0.53	0.47	0.00	219577	-0.28	164	1116	183028	8862	142642	855437	950486	188196	-0.38	158
	157	9	23	2.56709	217273	2349817	0	666427	0.08	0.92	0.00	423570	-0.36	531	1150	610637	20273	326312	1599006	1776673	351781	-0.47	157
	156	6	13	0.40048	73572	191858	135048	97825	0.28	0.72	0.34	66079	-0.32	113	1119	126443	2518	40529	259830	288699	57162	-0.42	156
	155	5	24	1.20267	464079	549887	188702	282986	0.46	0.54	0.16	198440	-0.30	287	1173	336584	10058	161892	740109	822343	162824	-0.42	155
	154	13	23	2.66851	1507275	1161236	0	606516	0.56	0.44	0.00	440304	-0.27	787	1150	905429	19332	311166	1690217	1878019	371848	-0.39	154
	153	15	18	3.46317	2029050	1434116	0	782223	0.59	0.41	0.00	571422	-0.27	1237	1140	1410739	22709	365522	2231853	2479836	491008	-0.37	153
	152	14	21	3.36515	280836	3084318	0	873875	0.08	0.92	0.00	555250	-0.36	1224	1145	1400931	26503	426589	2097277	2330307	461401	-0.47	152
	151	5	26	1.86667	621227	1245440	0	453418	0.33	0.67	0.00	308000	-0.32	485	1130	547999	11671	187855	1212145	1346828	266672	-0.41	151
	150	11	21	3.38696	2163550	745007	478400	740658	0.74	0.26	0.14	558848	-0.25	779	1132	881904	25229	406083	2134135	2371261	469510	-0.37	150
	149	5	19	1.21832	0	1218316	0	323219	0.00	1.00	0.00	201022	-0.38	353	1130	398921	9839	158367	755370	839300	166181	-0.49	149
	147	5	15	1.10501	409025	695988	0	265633	0.37	0.63	0.00	182327	-0.31	378	1137	429753	10794	173739	655021	727801	144105	-0.46	147
	146	5	18	1.40663	0	1406633	0	373180	0.00	1.00	0.00	232094	-0.38	673	1126	757828	10256	165079	889896	988773	195777	-0.48	146
	145	6	18	1.75387	0	1753869	0	465301	0.00	1.00	0.00	289388	-0.38	620	1135	703581	12221	196708	1118694	1242993	246113	-0.47	145
	144	15	24	5.18148	907300	4274177	0	1313585	0.18	0.82	0.00	854944	-0.35	1773	1140	2021798	38556	620593	3265515	3628350	718413	-0.45	144
	143	7	21	1.96816	787269	1180889	0	469169	0.40	0.60	0.00	324746	-0.31	414	1123	464950	15144	243756	1232363	1369292	271120	-0.42	143
	142	9	20	1.97630	206464	1769838	0	510418	0.10	0.90	0.00	326090	-0.36	240	1088	261037	14814	238445	1243782	1381979	273632	-0.46	142
	141	8	18	2.22211	435707	1786406	0	560203	0.20	0.80	0.00	366649	-0.35	293	1163	340686	15129	243515	1423070	1581189	313075	-0.44	141
	140	6	23	1.48235	380405	1101942	0	367665	0.26	0.74	0.00	244587	-0.33	191	1137	217146	10046	161699	950061	1055624	209013	-0.43	140
	139	6	16	1.52357	481262	1042310	0	371815	0.32	0.68	0.00	251389	-0.32	332	1119	371542	11921	191879	950800	1056444	209176	-0.44	139
	138	11	19	2.37469	942060	1432633	0	566605	0.40	0.60	0.00	391824	-0.31	708	1138	805627	17538	282290	1498730	1665255	329721	-0.42	138
	137	10	16	1.94384	804933	1138906	0	461528	0.41	0.59	0.00	320733	-0.31	490	1117	547276	12722	204772	1253107	1392341	275684	-0.40	137
	136	13	25	2.77072	532303	2046057	192357	694304	0.21	0.79	0.07	457168	-0.34	1214	1164	1412703	21035	338577	1739461	1932734	382681	-0.45	136
	135	10	20	3.98812	1159896	2138033	690187	962248	0.35	0.65	0.17	658039	-0.32	730	1157	844916	28496	458668	2532419	2813799	557132	-0.42	135
	134	9	18	2.04681	1194330	852479	0	462640	0.58	0.42	0.00	337723	-0.27	607	1144	694635	14755	237495	1297612	1441791	285475	-0.38	134
	133	4	36	0.81036	439561	370800	0	185406	0.54	0.46	0.00	133710	-0.28	204	1155	235644	7287	117291	490480	544978	107906	-0.42	133
	132	4	21	0.66656	588735	77824	0	137216	0.88	0.12	0.00	109982	-0.20	303	1148	347944	4668	75136	424783	471981	93452	-0.32	132
	131	14	25	2.18406	1353001	674861	156202	484361	0.67	0.33	0.07	360371	-0.26	750	1144	857816	16853	271264	1366784	1518649	300692	-0.38	131
	130	10	25	2.60170	1026819	1113858	461026	609279	0.48	0.52	0.18	429281	-0.30	1215	1162	1411298	20						

<b>86</b>	10	13	2.06561	1616590	449021	0	439210	0.78	0.22	0.00	340826	-0.22	659	1160	764708	14328	230622	1318586	1465096	290089	-0.34	<b>86</b>
<b>85</b>	6	20	1.24608	0	1246076	0	330584	0.00	1.00	0.00	205603	-0.38	453	1141	516897	8279	133258	801299	890332	176286	-0.47	<b>85</b>
<b>84</b>	16	22	2.84014	1245381	1426990	167772	665364	0.47	0.53	0.06	468624	-0.30	832	1077	895863	17981	289420	1840687	2045208	404951	-0.39	<b>84</b>
<b>83</b>	16	22	3.71217	1325518	1151830	1234817	863895	0.54	0.46	0.33	612507	-0.29	825	1155	952528	25386	408610	2375514	2639460	522613	-0.40	<b>83</b>
<b>82</b>	6	21	1.70442	872292	832132	0	393478	0.51	0.49	0.00	281230	-0.29	566	1163	658444	8654	139294	1139024	1265582	250585	-0.36	<b>82</b>
<b>81</b>	7	20	1.69885	230122	1468724	0	435217	0.14	0.86	0.00	280310	-0.36	423	1151	486683	11004	177119	1097016	1218906	241343	-0.45	<b>81</b>
<b>80</b>	15	20	2.85771	2289528	203818	364366	594702	0.92	0.08	0.13	471522	-0.21	964	1125	1084801	21094	339527	1803757	2004174	396827	-0.33	<b>80</b>
<b>79</b>	15	17	3.72706	653742	3073322	0	944793	0.18	0.82	0.00	614966	-0.35	857	1152	987457	25464	409866	2385432	2650480	524795	-0.44	<b>79</b>
<b>78</b>	7	23	1.75196	1258206	493749	0	380116	0.72	0.28	0.00	289073	-0.24	532	1102	586320	12517	201472	1112494	1236105	244749	-0.36	<b>78</b>
<b>77</b>	11	23	2.41071	811362	1599349	0	584957	0.34	0.66	0.00	397767	-0.32	730	1153	841930	17731	285396	1522637	1691819	334980	-0.43	<b>77</b>
<b>76</b>	11	18	2.38371	1476838	906870	0	533007	0.62	0.38	0.00	393312	-0.26	658	1174	772652	19111	307609	1480172	1644636	325638	-0.39	<b>76</b>
<b>75</b>	14	19	2.75065	1174717	1369618	206310	645385	0.46	0.54	0.08	453856	-0.30	968	1163	1125666	19377	311890	1751094	1945660	385241	-0.40	<b>75</b>
<b>74</b>	9	14	2.33565	321703	2013950	0	597998	0.14	0.86	0.00	385383	-0.36	880	1155	1016416	16101	259160	1492580	1658422	328368	-0.45	<b>74</b>
<b>73</b>	6	24	1.35133	169108	1182218	0	347126	0.13	0.87	0.00	222969	-0.36	260	1112	289043	9017	145137	868358	964842	191039	-0.45	<b>73</b>
<b>72</b>	11	16	2.51366	817814	1695842	0	611834	0.33	0.67	0.00	414753	-0.32	683	1154	787935	19725	317491	1567751	1741946	344905	-0.44	<b>72</b>
<b>71</b>	5	24	0.78517	530986	254181	0	172569	0.68	0.32	0.00	129553	-0.25	325	1159	376586	5893	94853	494022	548914	108685	-0.37	<b>71</b>
<b>69</b>	11	21	2.50216	174432	2327728	0	652084	0.07	0.93	0.00	412856	-0.37	1044	1151	1202073	18187	292736	1583884	1759871	348454	-0.47	<b>69</b>
<b>67</b>	8	22	1.38986	223520	1028798	137540	350152	0.18	0.82	0.10	229327	-0.35	454	1135	515409	9877	158979	883415	981572	194351	-0.44	<b>67</b>
<b>66</b>	10	20	2.50262	366190	1843668	292762	631777	0.17	0.83	0.12	412932	-0.35	793	1181	936512	17284	278201	1598764	1776404	351728	-0.44	<b>66</b>
<b>65</b>	4	23	0.82946	0	829460	0	220056	0.00	1.00	0.00	136861	-0.38	232	1123	260423	6361	102386	519709	577454	114336	-0.48	<b>65</b>
<b>64</b>	5	13	1.22126	275872	945388	0	305434	0.23	0.77	0.00	201508	-0.34	197	1145	225633	10830	174318	741627	824030	163158	-0.47	<b>64</b>
<b>63</b>	9	22	2.49417	386086	2108080	0	635719	0.15	0.85	0.00	411537	-0.35	892	1158	1033215	17361	279441	1591184	1767982	350060	-0.45	<b>63</b>
<b>62</b>	14	22	3.69551	1228313	2467193	0	897752	0.33	0.67	0.00	609758	-0.32	1034	1114	1151620	23967	385770	2385860	2650955	524889	-0.42	<b>62</b>
<b>60</b>	20	22	4.78237	183966	4551683	46716	1255180	0.04	0.96	0.01	789090	-0.37	1223	1146	1401204	33620	541144	3045630	3384033	670039	-0.47	<b>60</b>
<b>58</b>	7	21	1.65608	399884	1256200	0	412447	0.24	0.76	0.00	273254	-0.34	207	1149	237779	10041	161619	1080444	1200493	237698	-0.42	<b>58</b>
<b>57</b>	5	32	1.88919	1889194	0	0	374060	1.00	0.00	0.00	311717	-0.17	774	1180	913582	13004	209311	1207585	1341761	265669	-0.29	<b>57</b>
<b>56</b>	7	26	1.91307	665414	1247657	0	462755	0.35	0.65	0.00	315657	-0.32	568	1147	651375	14868	239314	1195489	1328321	263008	-0.43	<b>56</b>
<b>55</b>	14	22	3.11634	0	3116342	0	826766	0.00	1.00	0.00	514196	-0.38	1002	1102	1104325	24113	388120	1949137	2165707	428810	-0.48	<b>55</b>
<b>53</b>	9	23	2.71808	1040558	1618130	59387	649549	0.39	0.61	0.02	448482	-0.31	510	1126	574265	17561	282660	1755896	1950996	386297	-0.41	<b>53</b>
<b>52</b>	12	20	2.79825	690636	2107617	0	695897	0.25	0.75	0.00	461712	-0.34	1189	1151	1368360	21659	348621	1750069	1944521	385015	-0.45	<b>52</b>
<b>51</b>	9	20	2.81933	823993	1995338	0	692514	0.29	0.71	0.00	465190	-0.33	865	1148	993130	19843	319391	1795107	1994564	394924	-0.43	<b>51</b>
<b>50</b>	5	26	0.89098	356730	534251	0	212369	0.40	0.60	0.00	147012	-0.31	236	1134	267670	5544	89236	579000	643333	127380	-0.40	<b>50</b>
<b>49</b>	12	20	3.83999	1249158	2590834	0	934682	0.33	0.67	0.00	633599	-0.32	1135	1156	1311551	24253	390374	2489620	2766244	547716	-0.41	<b>49</b>
<b>46</b>	9	23	2.32556	673064	1640042	12458	571355	0.29	0.71	0.01	383718	-0.33	522	1144	597244	17926	288535	1455638	1617376	320240	-0.44	<b>46</b>
<b>45</b>	19	23	5.54136	1146396	4369885	25082	1392327	0.21	0.79	0.00	914325	-0.34	1641	1152	1889900	45444	731462	3424560	3805067	753403	-0.46	<b>45</b>
<b>44</b>	14	26	2.75288	1315282	1272315	165281	637572	0.51	0.49	0.06	454225	-0.29	843	1140	960838	20607	331688	1732971	1925523	381254	-0.40	<b>44</b>
<b>41</b>	7	23	1.67270	1166747	505950	0	365244	0.70	0.30	0.00	275995	-0.24	665	1129	750838	10931	175944	1078579	1198421	237287	-0.35	<b>41</b>
<b>40</b>	8	27	3.52908	0	3529084	0	936266	0.00	1.00	0.00	582299	-0.38	1122	1131	1269039	24820	399500	2247313	2497014	494409	-0.47	<b>40</b>
<b>39</b>	9	26	1.48695	1031476	318432	137042	321548	0.76	0.24	0.09	245347	-0.24	460	1132	520711	9836	158319	956894	1063215	210517	-0.35	<b>39</b>
<b>38</b>	7	25	1.23499	944707	290278	0	264063	0.76	0.24	0.00	203773	-0.23	436	1162	506636	9265	149128	777111	863456	170964	-0.35	<b>38</b>
<b>37</b>	4	22	1.10352	1103523	0	0	218498	1.00	0.00	0.00	182081	-0.17	306	1154	352972	7734	124486	703156	781285	154694	-0.29	<b>37</b>
<b>36</b>	8	31	1.26689	166295	626179	474412	312721	0.21	0.79	0.37	209036	-0.33	252	1161	292634	8255	132872	817293	908103	179804	-0.43	<b>36</b>
<b>35</b>	4	28	0.83693	295048	541880	0	202180	0.35	0.65	0.00	138093	-0.32	268	1140	305600	6450	103818	523878	582087	115253	-0.43	<b>35</b>
<b>34</b>	5	16	1.37681	869322	507486	0	306762	0.63	0.37	0.00	227173	-0.26	192	1128	216640	10724	172612	859994	955549	189199	-0.38	<b>34</b>
<b>33</b>	9	22	1.30081	192510	1085626	22674	331566	0.15	0.85	0.02	214634	-0.35	187	1115	208442	9747	156887	818721	909689	180119	-0.46	<b>33</b>
<b>32</b>	9	28	2.12236	506839	1615524	0	528953	0.24	0.76	0.00	350190	-0.34	591	1133	669460	14814	238445	1353327	1503697	297732	-0.44	<b>32</b>
<b>31</b>	3	19	0.83072	0	830717	0	220389	0.00	1.00	0.00	137068	-0.38	281	1142	320996	5917	95239	527799	586443	116116	-0.47	<b>31</b>
<b>30</b>	10	21	2.41679	621507	1795284	0	599347	0.26	0.74	0.00	398771	-0.33	1255	1136	1425706	19443	312952	1499641	1666268	329921	-0.45	<b>30</b>
<b>29</b>	9	25	2.12106	1065255	1055804	0	491025	0.50	0.50	0.00	349975	-0.29	623	1150	716695	15150	243853	1346941	1496601	296327	-0.40	<b>29</b>
<b>28</b>	20	18	4.14484	1898689	1956452	289698	964399	0.49	0.51	0.07	683898	-0.29	1664	1161	1932108	31308	503930	2604699	2894110	573034	-0.41	<b>28</b>
<b>27</b>	18	21	3.73216	2333476	1398682	0	833099	0.63	0.37	0.00	615806	-0.26	1042	1132	1179422	26804	431434	2367685	2630761	520891	-0.37	<b>27</b>
<b>26</b>	11	21	2.18697	927730	959945	299292	510074	0.49	0.51	0.14	360850	-0.29	581	1103	640656	14666	236062	1404163	1560181	308916	-0.39	<b>26</b>
<b>25</b>	7	19	1.42209	615963	806125	0	335826	0.43	0.57	0.00	234645	-0.30	455	1140	518867	10360	166753	899813	999792	197959	-0.41	<b>25</b>
<b>24</b>	9	17	2.78291	0	2782912	0	738307															







